

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kompenzace jalové energie na povrchovém lomu
Reactive Power Compensation at Opencast Quarry

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Bohumil Wimmer**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Kompenzace jalové energie na povrchovém lomu**
Reactive Power Compensation at Opencast Quarry

Zásady pro vypracování:

1. Problematika napájení povrchových dolů
2. Teoretický rozbor kompenzace jalové energie
3. Popis provozního zapojení důlní sítě
4. Možnosti technického řešení kompenzace

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, VŠB-TUO, Ostrava, 2008
2. Normy ČSN
3. Další literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce

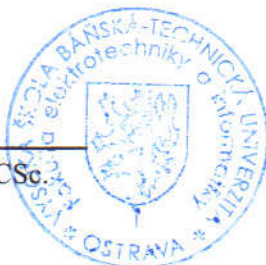
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

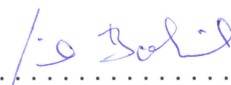

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



Bohumil Wimmer

Datum odevzdání: 4.5.2012

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Krejčímu Ph.D. za odborný dohled, cenné připomínky, ochotu, čas a trpělivost které mi věnoval při tvorbě této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Severočeských dolů za vstřícný přístup při poskytování podkladů a materiálů pro vypracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je posouzení možností kompenzace v distribuční síti na povrchovém uhelném lomu. V první části je popsána těžební technologie povrchového uhelného lomu a problematika distribuce elektrické energie k jednotlivým zařízením povrchového uhelného lomu. Druhá část se zabývá teorií kompenzace účinníku se zaměřením na kompenzační zařízení používaná v povrchových dolech. Třetí část popisuje distribuci elektrické energie v lokalitě povrchového uhelného dolu „Doly Nástup Tušimice“ a především používané kompenzační prostředky. Ve čtvrté části jsou rozebrány možnosti kompenzace jalové energie u jednotlivých zařízení používaných v povrchových uhelných lomech. V závěru je zhodnocen stav kompenzace v povrchovém uhelném lomu v lokalitě „Doly Nástup Tušimice“.

Klíčová slova

kompenzace jalové energie, individuální kompenzace, skupinová kompenzace, centrální kompenzace, statická kompenzace, kompenzace napěťové nesymetrie,

Abstract

The aim of this bachelor work is possibilities review for compensation at distribution network for opencast coal quarry. The first part describes mining technology for opencast coal quarry and electric power distributions questions to particular equipment of coal quarry. The second part handle theory of power-factor compensation focused for compensation equipment used in opencast mine. The third part describe power energy distribution at locations opencast mine „Doly Nástup Tušimice“ and especially used compensation facility. At the fourth part are analysed options of compensation of idle energy for particular equipment used at opencast mine. At the end of state compensation is evaluated in a surface coal mine in the area „Doly Nástup Tušimice“.

Key words

reactive power compensation, individual compensation, group compensation, central compensation, static compensation, voltage unbalance compensation

Seznam zkratek

C	kapacita (F)
D	deformační výkon (VA)
I	proud (A)
L	indukčnost (H)
P	činný výkon (W)
P_i	instalovaný výkon (W)
P_p	výpočtové zatížení (W)
ΔP	ztráty na výkonu (W)
ΔP_P	ztráty způsobené činnou složkou (W)
ΔP_Q	ztráty způsobené jalovou složkou (W)
Q	jalový výkon (var)
Q_c	výkon kompenzačního kondenzátoru (var)
Q_{CI}	jalový výkon jednoho kompenzačního stupně (var)
R	činný odpor (Ω)
S	zdánlivý výkon (VA)
U	napětí (V)
U_n	napětí harmonické (V)
W	energie (J)
X	reaktance (Ω)
X_C	kapacitní reaktance (Ω)
X_L	induktivní reaktance (Ω)
$\cos \varphi_1$	účinník první harmonické (-)
f_n	kmitočet harmonické (Hz)
k	nazýváme koeficientem kompenzace
n	řád harmonické (-)
p	činitel zatlumení (-)
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
β_s	součinitel náročnosti (-)
δ	ztrátový úhel kondenzátoru ($^\circ$)
φ	úhel posunu mezi vektorem napětí a vektorem proudu

φ_k	požadovaný vykompenzovaný úhel (obvykle $\cos \varphi_k = 0,95$)
λ	skutečný účinník (-)
ω	úhlová rychlost ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)

Seznam zkratek názvů

DNT	Doly Nástup Tušimice
DT	distribuční trafostanice
EMC	elektromagnetická kompatibilita
HIL	hlídač izolačního stavu
NZ	nakládací zásobník
PVP	pasový vůz překládací
PVZ	pasový vůz zakládací
SD	Severočeské Doly
S 1	1. skryvkový řez
S 2	2. skryvkový řez
S 3	3. skryvkový řez
S vůz	shazovací vůz
TC	technologický celek
TR	transformační rozvodna
TSN	transformátorová stanice napětí
ÚDUT	ústřední drtírna uhlí Tušimice

Obsah

Úvod.....	1
Doly Nástup Tušimice.....	2
Historie kompenzace účinníku na DNT	3
1 Problematika napájení povrchových dolů	4
1.1 Pracovní prostředí.....	4
1.1.1 <i>Určování druhu a třídy vnějších vlivů a druhu prostorů z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem</i>	<i>4</i>
1.2 Technologické vybavení povrchového dolu.....	6
1.2.1 <i>Těžební technologie</i>	<i>6</i>
1.2.2 <i>Přeprava materiálu</i>	<i>8</i>
1.2.3 <i>Pomocná technologie</i>	<i>9</i>
1.2.4 <i>Čerpání a čištění důlních vod.....</i>	<i>11</i>
1.2.5 <i>Těžba doprovodných surovin.....</i>	<i>11</i>
1.2.6 <i>Dílnské provozy</i>	<i>11</i>
1.3 Distribuce elektrické energie na povrchových dolech.....	12
1.3.1 <i>Definice</i>	<i>12</i>
1.3.2 <i>Používané napěťové soustavy pro technologická zařízení</i>	<i>15</i>
1.3.3 <i>Druhy rozvodu elektrické energie pro technologická zařízení</i>	<i>16</i>
1.3.4 <i>Rozvody elektrické energie pro technologická zařízení.....</i>	<i>16</i>
1.3.5 <i>Elektrické provozovny</i>	<i>21</i>
1.3.6 <i>Elektrická zařízení</i>	<i>23</i>
2 Teoretický rozbor kompenzace jalové energie	24
2.1 Základní teoretické úvahy o kompenzaci jalového výkonu.	24
2.2 Základní pojmy.....	26
2.3 Střídavá síť se sériovým kondenzátorem.....	28
2.4 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem	29
2.5 Kompenzace v sítích odběratelů elektrické energie	30
2.5.1 <i>Druhy kompenzace</i>	<i>30</i>
2.6 Základní rozdělení technických prostředků pro kompenzaci jalového výkonu	32
2.6.1 <i>Rotační kompenzační zařízení</i>	<i>32</i>
2.6.2 <i>Statické kompenzátory</i>	<i>33</i>
2.7 Způsoby řízení kompenzačního výkonu.....	41
2.7.1 <i>Stupňovitě řízené kompenzátory</i>	<i>41</i>
2.7.2 <i>Regulované kontaktní kompenzátory</i>	<i>44</i>

2.8	Charakteristika kompenzovaných spotřebičů a sítí	44
2.8.1	<i>Asynchronní elektromotory</i>	44
2.8.2	<i>Transformátory</i>	46
2.8.3	<i>Výkonové polovodičové měniče</i>	47
2.8.4	<i>Osvětlovací soustavy</i>	48
2.8.5	<i>Venkovní a kabelová vedení</i>	48
2.9	Komponenty kompenzačních zařízení	49
2.9.1	<i>Regulátory jalového výkonu</i>	49
2.9.2	<i>Jistící prvky</i>	50
2.9.3	<i>Přístrojové transformátory</i>	50
2.9.4	<i>Spínací prvky</i>	52
2.9.5	<i>Kondenzátory</i>	53
2.9.6	<i>Tlumivky</i>	54
3	Popis provozního zapojení důlní sítě (DNT)	56
3.1	Rozvodná síť	56
3.1.1	<i>Napojení DNT na veřejnou distribuční síť</i>	56
3.1.2	<i>Páteří rozvodná síť</i>	56
3.1.3	<i>Distribuce elektrické energie do těžebního prostoru lomu</i>	56
3.1.4	<i>Distribuce elektrické energie k jednotlivým zařízením technologie</i>	57
3.2	Hlavní transformovny a hlavní spínací stanice.....	57
3.2.1	<i>Transformovna TR2</i>	57
3.2.2	<i>Transformovna TR3</i>	61
3.2.3	<i>Rozvodna TR4</i>	65
3.3	Distribuční trafostanice a spínací stanice	66
3.3.1	<i>Kompensace distribučních bodů</i>	67
3.4	Napájení velkostírojů.....	72
3.5	Napájení dopravních linek.....	74
3.6	Napájení pomocných zařízení přepravy	78
3.7	Napájení čerpacích stanic	79
3.8	Kabelové rozvody.....	80
4	Možnosti technického řešení kompenzace	82
4.1	Kompensace poháněcí stanice.....	82
4.1.1	<i>Hlavní pohony dopravní linky pásového dopravníku</i>	82
4.1.2	<i>Motory napínání</i>	83
4.1.3	<i>Motor prашného pasu</i>	83
4.1.4	<i>Kompensace transformátoru</i>	83
4.2	Kompensace S vozu	84

4.3	Kompenzace velkstroje	84
4.3.1	<i>Dopravní linka stroje</i>	84
4.3.2	<i>Skupinová kompenzace rozvodny</i>	84
4.3.3	<i>Kompenzace přívodu velkstroje</i>	85
4.4	Kompenzace drtiče	86
4.5	Kompenzace čerpacích stanic.....	86
4.6	Kompenzace přesuvné distribuční trafostanice	86
4.6.1	<i>Distribuční transformátor</i>	86
4.6.2	<i>Přesuvný kompenzační kiosek</i>	87
4.7	Kompenzace napájecího bodu povrchového lomu	88
4.7.1	<i>Centrální kompenzace</i>	88
4.7.2	<i>Kompenzace napěťové nesymetrie</i>	89
4.8	Dekompenzace kabelových vedení	90
4.8.1	<i>Kabelová vedení 6 kV</i>	90
4.8.2	<i>Kabelová vedení 35 kV</i>	91
	Závěr	92
	<i>Seznam použité literatury</i>	93
	<i>Seznam obrázků</i>	95
	<i>Seznam tabulek</i>	96
	<i>Seznam příloh</i>	97

Úvod

Elektrická rozvodná soustava zajišťuje přenos elektrické energie od zdrojů ke spotřebičům. Kvalita elektrické energie nezávisí jen na výrobě, ale i na kvalitě přenosu a spotřeby. Velmi důležitým kritériem je také účinnost s jakou je energie dopravována z místa výroby do místa spotřeby. [7]

Vzhledem k velikosti spotřeby je průmysl velmi významným činitelem ve vlivu na kvalitu elektrické energie. Povrchové doly se, díky používané technologii, vybavené elektromotory velkých výkonů, významně podílejí na spotřebě elektrické energie a zpětně mohou velmi negativně působit na kvalitu elektrické energie v rozvodné soustavě. Proto je důležité věnovat pozornost omezování těchto zpětných vlivů.

Cílem této práce je posouzení možností kompenzace jalové energie v prostředí povrchového uhelného lomu.

První část této práce seznamuje s prostředím a technologickým vybavením povrchového uhelného lomu, včetně používaných prostředků distribuce elektrické energie. Další část práce je zaměřena na teorii dané problematiky, jsou zde popsány teoretické možnosti kompenzace a kompenzačních prostředků. Následně je popsána distribuce elektrické energie v lokalitě povrchového uhelného lomu Doly Nástup Tušimice (dále jen DNT), včetně osazení jednotlivých zařízení kompenzačními prostředky. V poslední části jsou navrženy možnosti vylepšení kompenzace jednotlivých zařízení ke zlepšení účinnosti a tím snížení zatížení a přenosových ztrát v distribuční soustavě lomu DNT.

Jedním z nejvýznamnějších ukazatelů kvality elektrické energie je poměr odběru jalového a činného výkonu z rozvodné sítě, protože nadměrný odběr jalové energie způsobuje pokles napětí a snižuje účinnost přenosu rozvodné sítě. Povinnost trvale kompenzovat jalový odběr elektrických zařízení, uskutečňovaný s účinností jinou než v rozsahu $\cos\varphi = 0,95 - 1$ ind., je předepsána všem odběratelům elektrické energie v následujících legislativních dokumentech: [7]

- Energetický zákon č. 458/2000 Sb., novelizován č. 151/2002 Sb., č. 262/2002 Sb. a č. 309/2002 Sb.
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 82/2011 Sb. §5 odst. 3,
- Ceník elektrické energie schválený Výměrem Ministerstva financí České republiky č. 01/2011.

Ustanovení těchto závazných dokumentů přebírají do svých podmínek dodávky elektrické energie všechny rozvodné podniky a prostřednictvím svých obchodních správ je uplatňují více či méně důsledně vůči všem odběratelům elektrické energie. Obecně je možné říci, že každý odběratel má povinnost odběr jalové energie kompenzovat. [7]

V zemích EU platí od 1.1.1995 zákon, který řeší připojovací podmínky spotřebičů k elektrické rozvodné síti a tento zákon nedovoluje připojit spotřebiče, které na ni mají zpětný vliv – tzn. jsou zdrojem harmonických. Každý statický kompenzátor musí mít předřazenu ochrannou tlumivku.

V normě ČSN 33 3430, případně ČSN EN 50 160, jsou uvedeny mezní hodnoty jednotlivých harmonických vyšších řádů a dovoleného celkového zkreslení sinusové křivky napětí na jednotlivých úrovních napěťových hladin. [7]

Spolehlivý a bezporuchový provoz kompenzačních zařízení je jednou z nutných podmínek zajištění provozuschopnosti průmyslových sítí. Jedná se především o zatížení napájecích silových transformátorů způsobeného přenosem jalového výkonu. Vhodně navržené a správně provozované kompenzační zařízení eliminuje také účinky energetického rušení. Naopak nevhodně navržená kompenzace může způsobovat překompenzování či nedokompenzování, kolísání napětí při použití kompenzačního zařízení s delším časovým zpožděním, reagujícího na dynamicky se měnící potřebu kompenzačního výkonu, nebezpečné rezonanční jevy, při použití nechráněných kondenzátorů, nebo nevhodně laděných kompenzačních filtrů a zvýšení činných ztrát. [7]

Doly Nástup Tušimice

Doly Nástup Tušimice byly založeny kolem roku 1960 jako zdroj energetického uhlí pro elektrárny Tušimice I, II a Pruněřov I, II, které byly postupně vystavěny v okolí těchto dolů. Uhlí bylo dále dopravováno po železnici, především do elektráren ve Chvaleticích, Opatovicích nad Labem a Mělníku.

Aby bylo možné pokrýt potřeby všech těchto odběratelů, byly povrchové doly vybaveny těžební technologií výkonové řady TC2 pro těžbu nadložních zemin a těžební technologií výkonové řady TC1 pro těžbu uhlí.

Z ekonomického hlediska je postavení elektráren na patě dolu velmi výhodné, neboť přeprava uhlí je provedena prostřednictvím pasové dopravy přímo z dolů, bez jakékoli překládky. Přeprava na větší vzdálenosti je výhodnější po železnici.

Povrchové doly jsou, kromě těžební technologie, vybaveny také pomocnými provozy, jako je čerpání a čištění důlních vod, železniční vlečky Tušimice – Pruněřov a Tušimice – Březno u Chomutova, homogenizační skládka, drtírny uhlí, dílny, rekultivace, atd..

Na napájecí síti DNT jsou také připojeni externí odběratelé, jako např. motokrosový areál, skládka odpadů ...atd..

Historie kompenzace účiníku na DNT

Již krátce po vzniku dolu vyvstal problém s množstvím odebírané jalové energie z napájecí sítě, což při velikosti odebíraného množství energie je pochopitelné. Po letech čekání na výrobu byly doly vybaveny synchronními kompenzátory, které pokrývaly potřeby dolu na množství jalové energie, v odběrných bodech z napájecí sítě.

Dobývací a zakládací velkostroje byly v některých případech vybaveny rotačními kompenzátory již od výrobce. Poháněcí stanice dálkové pasové dopravy byly kompenzovány statickými kondenzátory s delorovou náplní. Tyto kondenzátory byly po zprůsňení ekologických a hygienických norem postupně vyřazeny z provozu.

Kolem roku 2000 bylo rozhodnuto o náhradě rotačních kompenzátorů, a to především z ekonomických důvodů, neboť spotřeba činné energie, potřebná k pohonu rotačních kompenzátorů, přepočteno na peníze, činila až 24 mil. Kč za rok. Postupně byly rotační kompenzátory nahrazeny statickou kompenzací a to jak na dobývacích strojích, tak v odběrných bodech z veřejné napájecí sítě.

Vzhledem ke ztrátám a napěťovým poměrům, vznikajících při přenosu jalové energie v distribuční síti napájení dolu, je v posledních 15 letech snahou, ze strany vedení dolu, kompenzovat jalovou energii co nejbližší spotřebičům jalové energie. Proto se postupně napájecí distribuční body doplňují o kompenzační kiosky, upravuje se individuální kompenzace jednotlivých pohonů dopravních linek a řeší se kompenzace velkostrojů.

1 **Problematika napájení povrchových dolů**

V současnosti je moderní uhelný povrchový důl vybaven těžebními technologiemi, které jsou plně elektrifikovány, využívají polovodičové řízení pohonů, jsou automatizovány a řízeny prostřednictvím programovatelných automatů a optických vláken.

Povrchový důl se vyznačuje tím, že se rozkládá na poměrně rozsáhlém území a je vystaven všem možným povětrnostním vlivům.

Při napájení povrchového dolu musíme řešit problém, jak dostat dostatečné množství elektrické energie v požadované kvalitě k jednotlivým zařízením těžební technologie, která je rozmístěna na ploše až 100 km² a navíc se nachází v neustálém pohybu. K těmto účelům nám slouží interní distribuční síť povrchového dolu.

1.1 **Pracovní prostředí**

1.1.1 **Určování druhu a třídy vnějších vlivů a druhu prostorů z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem**

Při návrhu elektroenergetických rozvodných zařízení v uhelných lomech je třeba protokolárně určit (odbornou nejmeně tříčlennou komisí, jmenovanou organizací a složenou z odborníků profesí elektro, strojně-technologické, stavební apod.), druh prostředí, vystihující vnější vlivy, které budou působit na elektrozařízení v místě jejich umístění. Navrhované zařízení musí svým krytím (IP-kód) tomuto prostředí vyhovovat. [10]

Součástí protokolu o určeném druhu prostředí je rovněž určení druhu prostoru z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [10]

Povrchové doly se nacházejí ve volné přírodě a tomu odpovídá pracovní prostředí elektrického zařízení (platné pro Doly Nástup Tušimice):

- ***pracovní rozsah teplot:*** -25 až 40°C některá zařízení, která jsou vystavena přímému slunečnímu záření dosahují v letních měsících teploty až 60°C,
- ***nadmořská výška:*** 180 až 320 m,
- ***relativní vlhkost:*** 10 – 100%,
- ***výskyt vody:*** stříkající voda, občas dochází i k zaplavení některých částí dolu včetně elektrických zařízení,

- **prašnost:** v letních měsících je prašnost velmi vysoká, proto jsou některé, především uhelné provozy, ohroženy nebezpečím výbuchu,
- **koroze:** vzhledem k výskytu většího obsahu síry v těženém uhlí je elektrické zařízení vysoce namáháno sirnými výpary,
- **mechanické namáhání:** Doly Nástup Tušimice se nachází v oblasti s výskytem větrů o rychlosti až 120 km/h (v prostoru DNT byl zaznamenán i výskyt tornáda),
- **vibrace:** především zařízení sloužící k těžbě, přepravě a zpracování skrývky a uhlí jsou zatíženy silnými vibracemi.

Klasifikace prostředí povrchového uhelného lomu podle ČSN 33 2000-3:

- na místech chráněných proti povětrnostním vlivům

Atmosférické podmínky	AB4
Výskyt vody	AD2
Prašnost	AE4
Koroze	AF2
Mechanické namáhání	AG3
Vibrace	AH3

- na místech nechráněných proti povětrnostním vlivům

Atmosférické podmínky	AB3 + AB6
Výskyt vody	AD4
Prašnost	AE6
Koroze	AF2
Mechanické namáhání	AG3
Vibrace	AH3

1.2 Technologické vybavení povrchového dolu

Těžba na povrchovém dole se provádí tzv. řezovou technologií, kdy podle mocnosti nadložních zemin se tyto těžby souběžně v několika řezech (vrstvách) nad sebou, odtěžený materiál se přepravuje prostřednictvím dálkové pasové dopravy do lokalit, kde již bylo uhlí odtěženo a zde se opět zakládá v jednotlivých vrstvách nad sebou. Tímto způsobem je odkryto uhlí, které se těží, přepravuje se prostřednictvím dálkové pasové dopravy na skládky uhlí, kde se případně upravuje jeho kvalita, třídí se a opět pomocí pasové dopravy, případně kolejové dopravy, se přepravuje dále ke spotřebiteli.

K technologickému vybavení povrchového dolu patří také čerpání a úprava důlních vod, dílenské provozy, ale také administrativní a sociální zařízení.

1.2.1 Těžební technologie

Těžební technologii tvoří sestava strojů a zařízení pro těžbu, přepravu a zakládání skrývky a uhlí. Těžební technologii rozdělujeme především podle těžebního výkonu do tří výkonnostních skupin:

TC 1 do 3 150 m³/hod

TC 2 do 10 000 m³/hod

TC 3 do 20 000 m³/hod

1.2.1.1 Rypadla

K těžbě materiálu jsou využívány různé typy rypadel. Jejich nasazení je dáno konkrétními podmínkami těžby, jako je výška řezu, tvrdost těženého materiálu, požadovaný těžební výkon, nebo také skluzové poměry. Z energetického hlediska nás zajímá, jaký je instalovaný výkon stroje a na jaké napěťové hladině je prováděna dodávka elektrické energie.

U rypadel můžeme elektrickou síť rozdělit na distribuci elektrické energie, dopravní linku stroje, zařízení zajišťující pohyby stroje a pomocná zařízení (např. osvětlení, klimatizace a topení, řízení stroje, mazání...atd.).

U nových, případně modernizovaných rypadel se využívá výkonových frekvenčních měničů, v kombinaci s asynchronními motory nakrátko, především pro pohony pohybů stroje, jako je zdvih, otoč nebo housenicový podvozek, jako náhrada stejnosměrných pohonů a Ward-Leonardova soustrojí.



Obr. 1.1 Rypadla K800 N2 (těžba uhlí) a KU800 (těžba skrývky)

1.2.1.2 Zakladače

Pro zakládání materiálu jsou opět využívány stroje, které se rozlišují především podle výkonového množství zakládaného materiálu.

Podobně, jako u rypadel, můžeme elektrickou síť rozdělit na distribuci elektrické energie, dopravní linku stroje, zařízení zajišťující pohyby stroje a pomocná zařízení (např. osvětlení, klimatizace a topení, řízení stroje, mazání...atd.).



Obr. 1.2 Zakladač ZPD 6800.1 při zakládání materiálu na úpadní etáž

1.2.2 Přeprava materiálu

Při povrchovém dobývání se přemísťuje značné množství nadložních zemin a to na vzdálenost několika kilometrů až desítek kilometrů. Také těžené uhlí je nutné dopravit z prostoru uhelného lomu k dalšímu zpracování a dále ke spotřebiteli. K tomuto účelu se využívá dálková pásová doprava a kolejová doprava, ale také autodoprava.

1.2.2.1 Dálková pásová doprava

Pro přepravu materiálu je v povrchových uhelných dolech využívána dálková pásová doprava. Pásový dopravník je tvořen poháněcí stanicí, na které se nacházejí veškeré pohony pasového dopravníku, střední částí, sestavenou ze středních dílů, na kterých jsou umístěny válečky, po kterých se pohybuje pás přepravující materiál a vratnou stanicí, na které dochází ke změně směru pohybu pásma. Poháněcí stanice je většinou umístěna nad vratnou stanicí a předává materiál na následující pasový dopravník. Sestavením několika pasových dopravníků za sebe je vytvořena dopravní linka.

Pasový dopravník může dosahovat délky i několika kilometrů, což je omezeno výkonem pohonů, pevností a průtažností použitého pásma, převýšením mezi vratnou a poháněcí stanicí, ale také adhezí na hnacích bubnech, délkou napínací dráhy...atd.. Pasový dopravník, především dopravní pásma, je během rozjezdu a zastavování vystaven značným dynamickým silám, danými polohovou a kinetickou energií přepravovaných hmot.



Obr. 1.3 Dálková pásová doprava

Pro pohon pasového dopravníku (DNT) se používají pohony s elektromotory o výkonech od 200 kW až do 500 kW. Elektromotory těchto pohonů mohou být kroužkové nebo asynchronní nakrátko, na napěťové hladině 400 V, 500 V, 690 V nebo 6 kV. Rozběh je řízen pomocí rotorových spouštěčů, rozběhových tlumivek, frekvenčního měniče, případně pomocí mechanické hydrospojky.

1.2.2.2 Kolejová doprava

Pro přepravu uhlí z povrchového uhelného dolu ke vzdálenějším spotřebitelům je využívána kolejová doprava. Součástí dolu je technologické zařízení pro nakládku uhlí do vagónů a kolejová vlečka, po které se uhlí dopravuje do železniční sítě. K napájení trakce kolejové vlečky je povrchový důl vybaven jednou nebo více měnícími napětí. K napájení elektrické trakce vlečky se používá napětí 1PE DC 3000 (1500) V.

1.2.3 Pomocná technologie

Povrchový důl, určený pro těžbu uhlí, je vybaven pomocnou technologií určenou pro úpravu, skladování a překládku uhlí na kolejovou dopravu.

1.2.3.1 Drtírna

Před tím, než uhlí opustí povrchový lom, je drceno pomocí drtičů na velikost cca 40 mm. K tomuto účelu se používají kladivové drtiče s odlučovači uhelného prachu před vlastním drcením. Rotor drtiče je zpravidla poháněn kroužkovým motorem o výkonu 800 – 1000 kW. Před vlastním drcením je kontinuálně prováděna separace kovových předmětů pomocí elektromagnetů.

1.2.3.2 Homogenizační skládka

Uhlí, těžené v různých částech povrchového lomu, nemá stejnou kvalitu. U prodáváného uhlí je však požadována kvalita v určitém rozpětí hodnot (např. výhřevnost, popelnatost, sirnatost .. atd.). Při překročení těchto hodnot dochází k poškozování technologie spalující toto uhlí (např. k propalování kotlů), případně dochází k problémům při plnění požadavků na odsíření, obsah popela ve spalinách, protože technologie odsíření, případně odlučování popelovin, jsou dimenzovány na určitý výkon. Při příliš nízké výhřevnosti paliva může docházet k problémům s hořením. Proto je důležité dodávat uhlí v požadovaném rozpětí kvalitativních hodnot. K tomuto účelu slouží homogenizační skládka.

Homogenizační skládka také navyšuje výtěžnost povrchového dolu, protože uhlí, které by bylo nutné odepsat, protože nesplňuje kvalitativní požadavky, je možné po smíchání s „příliš kvalitním“ uhlím využít.

Na homogenizační skládce se kvalita uhlí upravuje tak, aby vyhovovala požadované kvalitě. To se provádí vrstvením uhlí různé kvality na sebe. Mícháním uhlí různé kvality lze docílit požadovaných hodnot kvality uhlí. K tomuto účelu slouží na homogenizační skládce skládkové stroje, které mohou uhlí podle potřeby zakládat na skládku, ale také z této skládky odtěžit.



Obr. 1.4 Skládkový stroj KKS 40/35.1 na homogenizační skládce

1.2.3.3 Pojízdné drtiče

Při těžbě tvrdších hornin (například z větších hloubek), případně v zimním období, se při těžbě skrývky používají pojízdné drtiče, které mají za úkol zmenšit velikost těžené horniny na cca 400 mm. Při větší kusovitosti dochází k poškození válečků, stolic a gumového pásma dálkové pasové dopravy. V současnosti je snahou ochránit i části dopravní linky rypadla, proto je snahou umisťovat drtiče co nejbližší kolesu, případně mezi první a druhý pás rypadla.

Drtiče se obvykle napájí na napěťové hladině 6 kV z rypadla, které do něj sype.

1.2.3.4 Shazovací vozy

Shazovací vůz se používá k vykládce materiálu ze střední části pasového dopravníku. Shazovací vůz se pohybuje po kolejích příslušného pasového dopravníku. Materiál se vynáší pomocí krátkého pásku například na zakladač.

1.2.4 Čerpání a čištění důlních vod

Protože uhelný povrchový důl je pod úrovní okolního terénu a rozkládá se na velké ploše, je standardně vybaven zařízeními pro odvodnění a úpravu odčerpávané vody (čištění od ropných produktů, atd.). Prostor povrchového lomu je rozdělen na povodí jednotlivých čerpacích stanic pro potřebu určení výkonu těchto čerpacích stanic.

Podle vyhlášky ČBÚ 26/1989 Sb. musí být v lomu určena hlavní čerpací stanice, pro kterou platí zvláštní předpisy jako např. pohotovostní záloha ve výši 100 %, odběr 1. stupně dodávky elektrické energie, atd. Hlavní čerpací stanice se nachází v nejnižším místě uhelného lomu. [8] Při čerpání je tedy většinou nutno překonat značné převýšení, proto se používá zapojení několika čerpadel za sebou a na trase mohou být vřazena další pomocná čerpadla.

1.2.5 Těžba doprovodných surovin

Pro povrchové doly platí z horního zákona povinnost vytěžit všechny suroviny, které se nachází v těžebním prostoru lomu. Nejčastěji se jedná o kaolíny a šterkopísek. K tomuto účelu se využívá většinou malých rypadel a přeprava se provádí automobily mimo těžební lokalitu.

1.2.6 Dílenské provozy

Povrchové doly jsou obvykle vybaveny dílenskými provozy, které slouží k opravám a servisní údržbě těžební technologie. Dílenské provozy jsou strojně vybaveny podobně jako strojírenské závody.

1.3 Distribuce elektrické energie na povrchových dolech

1.3.1 Definice

Hlavní spínací stanice – Stanice sloužící k rozvodu a spínání elektrických obvodů s ukončeným přívodním vedením elektrické energie, ve stanici není prováděna transformace (netýká se transformace vlastní spotřeby). [8]

Hlavní transformační stanice – Stanice sloužící k přeměně a rozvodu elektrické energie napětí transformovaného pro napájení spotřebičů (vvn/vn, vn/nn). Obvykle se jedná o stabilní zařízení. [8]

Podružná spínací stanice – Stanice sloužící k rozvodu, spínání a rozdělování několika elektrických vedení, pokud není prováděna transformace (netýká se transformace vlastní spotřeby). [8]

Podružná transformační stanice – Stanice sloužící k rozvodu a transformaci elektrické energie vn/vn nebo vn/nn. Obvykle se jedná o stabilní zařízení. [8]

Přesuvný spínací kiosek – Kiosek sloužící k rozvodu a spínání elektrického vedení obvykle vn, není prováděna transformace (netýká se transformace vlastní spotřeby). Jedná se o přesuvné provedení kiosku. [8]

Přesuvný transformační kiosek – Kiosek sloužící k transformaci napětí obvykle vn/nn, včetně rozvodu výstupního napětí. Jedná se o přesuvné provedení kiosku. [8]

Venkovní stabilní vedení – Vedení sloužící k rozvodu elektrické energie v pevných trasách na základě báňskotechnologického řešení uhelného lomu. Trasy vedení je nutno konzultovat rovněž z hlediska vodohospodářského a inženýrských a dopravních staveb uhelného lomu. [8]

Venkovní přesuvné vedení – Vedení sloužící k rozvodu elektrické energie v prostoru uhelného lomu, kde není možno budovat vedení stabilní, nebo pro technologická zařízení s omezenou dobou trvání provozu. [8]

Kabelové stabilní vedení – Vedení sloužící k rozvodu elektrické energie v prostorech, kde nelze v žádném případě budovat venkovní stabilní vedení. [8]

Kabelové přesuvné vedení – Vedení sloužící k rozvodu elektrické energie v uhelném lomu pro přesuvná technologická zařízení. [8]

Kabelový vůz – Přesuvný vůz s potřebnou kabelovou rezervou pro napájení velkstroje technologického celku (rypadla, zakladače, přesýpacího vozu, nebo zakládacího vozu). [8]

Ochranné pásmo elektrického rozvodného zařízení – Pásmo, vymezené svislými rovinami, vedenými ve vodorovné vzdálenosti, měřené kolmo na elektrické rozvodné zařízení (napájecího bodu nebo vedení). [8]

1.3.1.1 Kompenzace elektrického indukčního výkonu statickými kondenzátory

Kompenzace elektrického indukčního výkonu – Zmenšení indukčního (magnetizačního) výkonu kapacitním výkonem kondenzátoru, nebo rotačního kompenzátoru. [8]

Kompenzace jednotlivá (individuální) – Kompenzace, při níž se kompenzuje induktivní výkon každého spotřebiče samostatně. [8]

Kompenzace skupinová – Kompenzace, při níž se kompenzuje skupina induktivních spotřebičů současně. [8]

Kompenzace ústřední (centrální) – Kompenzace, při níž se induktivní výkon spotřebičů kompenzuje ústředně, pro celý úsek provozu. [8]

Jmenovitý proud kondenzátoru – Proud, procházející jednou připojovací svorkou, při jmenovitém napětí, jmenovité kapacitě a jmenovitém kmitočtu. [8]

Jmenovitý výkon kondenzátoru – Kapacitní výkon, při jmenovitém napětí a jmenovitém kmitočtu, pro který je kondenzátor proveden. [8]

1.3.1.2 Kompenzace harmonických

Společný napájecí bod (PCC) – Bod rozvodné sítě, elektricky nejbližší ke konkrétní zátěži, ve kterém jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže. [8]

Společným napájecím bodem je místo měření elektrické energie, odebírané ze sítě elektrizační soustavy, nebo výjimečně jiné, dohodnuté místo elektrizační soustavy u hlného lomu (např. hlavní spínací nebo transformační stanice).

Napájecí bod uvnitř závodu (IPC) – Napájecí bod uvnitř vyšetřované rozvodné sítě, nebo instalace, elektricky nejbližší ke konkrétní zátěži, ve které jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže (např. podružné spínací nebo transformační stanice). [8]

Základní kmitočet – Kmitočet, ke kterému jsou všechny kmitočty spektra vztaženy, základní kmitočet je shodný s kmitočtem rozvodné napájecí sítě. [8]

Harmonický kmitočet – Kmitočet, který je celočíselným násobkem základního kmitočtu, poměr harmonického kmitočtu základního kmitočtu je řád harmonické (h). [8]

Meziharmonický kmitočet – Jakýkoliv kmitočet, který není celočíselným násobkem základního kmitočtu (m). [8]

Řád meziharmonické je poměr meziharmonického kmitočtu a základního kmitočtu. V případě $m < 1$ se používá termín subharmonický kmitočet. [8]

Základní složka – Jakákoliv složka, jejíž kmitočet je základní kmitočet. [8]

Harmonická složka – Jakákoliv složka, která má harmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota. Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na „harmonickou“. [8]

Meziharmonická složka - Jakákoliv složka, která má meziharmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota. Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na „meziharmonickou“. [8]

Celkové harmonické zkreslení (THD) – Poměr efektivní hodnoty součtu všech harmonických složek až do stanoveného řádu (H) a efektivní hodnoty základní složky [8]

$$THD = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2} \quad (2.1)$$

kde: Q – proud (A) nebo napětí (V),

Q_1 - efektivní hodnota základní složky proudu (A) nebo napětí (V),

h – řád harmonické,

Q_h – efektivní hodnota harmonické složky proudu (A) nebo napětí (V) řádu h ,

H – všeobecně 50.

THD bere v úvahu jen harmonické.

Harmonické napětí – Sinusové napětí, s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí; harmonická napětí lze hodnotit: [8]

- jednotlivě, jejich relativní amplitudou (U_h) vztaženou k napětí základní harmonické U_1 , kde h je řád harmonické,
- souhrnně, např. pomocí činitele celkového harmonického zkreslení THD , který se počítá pomocí vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=1}^{40} (U_h)^2} \quad (2.2)$$

Meziharmonické napětí – Sinusové napětí, s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, tzn. kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu síťového napětí. [8]

Celkový harmonický proud – Celková efektivní hodnota proudu harmonických složek řádu 2 až 40.

$$\text{Celkový harmonický proud} = \sqrt{\sum_{h=1}^{40} (I_h)^2} \quad [8] \quad (2.3)$$

Filtračně kompenzační zařízení (FKZ) – Konfigurace zařízení, které zahrnuje pouze zařízení pro filtraci harmonických vyšších řádů (např. filtrační tlumivka), nebo může zahrnovat kompletní filtračně kompenzační zařízení pro filtraci harmonických vyššího řádu a kompenzaci jalové energie. [8]

1.3.1.3 Kompenzace zemních kapacitních proudů v sítích vn

Kompenzace kapacitních zemních proudů – Omezování zemního kapacitního proudu v elektrických sítích vn, tekoucího místem zemního spojení pomocí proměnné indukčnosti (tlumivky), zapojené mezi nulový bod (uzel) elektrické sítě a zem. [8]

Zhášecí tlumivka – Tlumivka s proměnnou indukčností, připojená mezi uzel elektrické sítě a zem. [8]

Trojfázová nulová tlumivka – Tlumivka, k vytvoření umělého uzlu elektrické sítě, v trojfázové soustavě, pro připojení zhášecí tlumivky. [8]

Zemní spojení – Spojení kteréhokoliv bodu izolované nebo kompenzované elektrické sítě se zemí, v jehož důsledku vzniká napětí mezi uzlem elektrické sítě a zemí vyšší než 33% fázového napětí. [8]

Proud zemního spojení – Proud, tekoucí místem zemního spojení, při jmenovitém napětí na zhášecí tlumivce. [8]

Zbytkový proud – Proud v místě zemního spojení, který bývá ve venkovních elektrických sítích menší než 10% a kabelových sítích menší než 5% proudu kapacitního. [8]

1.3.2 Používané napěťové soustavy pro technologická zařízení

V povrchových dolech se používá celá řada napěťových soustav. Mezi nejvýznamnější patří: [10]

- 3PE AC-50 Hz 110 kV TT	... <i>napájení dolu</i>
- 3PE AC-50 Hz 35(22) kV IT	... <i>venkovní linky páteřního napájení dolu</i> (okružní linky, napájení technologických celků)
	... <i>napájení TSN a DT</i>
	... <i>kabelové rozvody k rypadlům</i>
- 3PE AC-50 Hz 6 kV IT	... <i>kabelové rozvody napájení dopravních linek, menších rypadel, napájení zakladačů a pomocných technologických zařízení</i>
- 3PE AC-50 Hz 500 V IT	... <i>napájení energetických obvodů 500V</i>
- 3N/PE AC-50 Hz 690/400 V TN-C	... <i>napájení energetických obvodů 690/400V</i>
- 3N/PE AC-50 Hz 400/230 V TN-C-S	... <i>napájení energetických obvodů 400/230V</i>
- 1PE DC 3000(1500) V	... <i>napájení kolejové dopravy</i>

1.3.3 Druhy rozvodu elektrické energie pro technologická zařízení

Podle důležitosti jednotlivých technologických zařízení v uhelném lomu jsou dodávky elektrické energie ve smyslu ČSN 34 1610 stanoveny takto: [10]

- a) dodávka 1. stupně - hlavní čerpací stanice;
- b) dodávka 2. stupně - hlavní výrobní technologická zařízení, úpravny a drtírny uhlí;
- c) dodávka 3. stupně - nevýrobní zařízení: administrativní, správní a sociální objekty, kuchyně ... apod..

Doporučuje se, aby elektrická síť byla navrhována tak, aby bylo zajištěno napájení jednoho technologického celku z jednoho napájecího vedení (bodu). [8]

Pro napájení jednotlivých technologických celků se používají transformátory 35/6 kV (22/6 kV) o výkonech: 4,0 MVA, 6,3 MVA a 10 MVA. [8]

Napájení hlavní čerpací stanice musí být zajištěno dvěma nezávislými přívody (1. stupeň dodávky).

Doporučuje se, aby provozní jednotky pomocné mechanizace, podružné čerpací stanice a ostatní zařízení nevýrobního charakteru, byly napájeny samostatnými vedeními z napájecího bodu. [8]

1.3.4 Rozvody elektrické energie pro technologická zařízení

Zařízení rozvodů elektrické energie pro technologická zařízení v uhelných lomech musí svým provedením a krytím vyhovovat prostředí prostoru jejich umístění. Prostředí a požadované krytí je uvedeno v NPD 31-2-21. [8]

1.3.4.1 Dimenzování elektrických vedení

Energetická náročnost technologických zařízení se určuje z maximálních příkonů a instalovaných výkonů jednotlivých technologických zařízení v povrchovém dole. Tyto údaje jsou závislé na druhu a konfiguraci technologického celku, délce a počtu pásových dopravníků zajišťujících dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot. [8]

Za účelem stanovení výpočtového zatížení, lze uvažovat s těmito středními hodnotami součinitele náročnosti β_s pro: [8]

- a) technologická zařízení uhelného lomu jako celku - $\beta_s = 0,50$;
- b) pomocné nevýrobní provozy
(dílny, kuchyně, administrativní a sociální objekty apod.) - $\beta_s = 0,30$;

Výpočtové zatížení TC pak bude:

$$P_p = \sum \beta_s \cdot P_i \quad (2.4)$$

- kde: P_p - výpočtové zatížení (kW),
 P_i - součet jmenovitých (instalovaných) výkonů (kW),
 β_s - střední hodnota energetické náročnosti

Venkovní a kabelová vedení se dimenzují podle výpočtového zatížení napájeného technologického zařízení a to v souladu s ČSN 33 2000-5-523, ČSN 34 1610 a NPD 31-3-32, podle následujících hledisek dimenzování: [8]

- a) **hospodárnost** – kabely a vodiče nemají být zatěžovány vyšším proudem, než je proud hospodárný,
- b) **mechanické namáhání** – kabely a vodiče musí odolat mechanickému namáhání, kterému mohou být vystaveny při běžném provozu,
- c) **úbytek napětí** – jednotlivé části rozvodu nesmí způsobit nedovolený pokles napětí na svorkách spotřebičů. Dovolený pokles napětí stanoví ČSN 34 1610. Není-li dovolený pokles předepsán, platí zásada, že v místě spotřebiče nemá být pokles napětí větší, než 5% jmenovitého napětí elektrické sítě,
- d) **účinek zkratových proudů** – kabely a vodiče musí odolat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů. Teplota vodičů a kabelů při zkratu nesmí překročit hodnoty uvedené v ČSN 33 2000-4-43,
- e) **povrchová teplota** – vodiče a kabely nemohou při normálním používání, třeba i na krátkou dobu, dosáhnout teploty, která by překračovala hranici uvedenou ČSN 33 2000-4-42.

Výpočtové zatížení vodičů a kabelů musí vycházet z instalovaného výkonu spotřebičů, jejich účinnosti, případně součinitele náročnosti a musí respektovat způsob uložení vodičů, kabelů (zem, vzduch, kabelový buben, apod.) a přepočítací koeficient. [8]

1.3.4.2 Zkratové proudy

Velikost zkratového proudu, v libovolném místě trojfázové střídavé soustavy (maximální nebo minimální zkratový proud), závisí především na konfiguraci sítě, elektromotorech, které jsou v okamžiku zkratu v provozu a dále na provozním stavu sítě před zkratem. [10]

Výpočet zkratových impedancí vychází ze jmenovitých údajů elektrických zařízení. Výpočtem se zajišťují dva různé zkratové proudy, které se liší svou velikostí: [10]

- a) maximální zkratový proud, který určuje zkratovou odolnost nebo jmenovité hodnoty elektrického zařízení,
- b) minimální zkratový proud, který může být základem, například pro volbu pojistek, nastavení ochran a pro kontrolu rozběhu elektromotorů.

Jištění vodičů a kabelů – je prováděno podle ČSN 33 2000-4-43. [10]

1.3.4.3 Svodové (únikové) proudy

V soustavách s izolovaným uzlem zdroje se svodové (únikové) proudy, odtékající z elektrického zařízení, s jmenovitým napětím do i nad 1 000 V, do země, prostřednictvím zemniče nebo zemnicích sítí, z důvodu vzniklé poruchy nebo změněnými izolačními vlastnostmi elektrického zařízení, musí kontrolovat. Ke kontrole se používají hlídače izolačního stavu (HIL). [10]

V případě překročení přípustných hodnot svodového (únikového) proudu se musí provést nezbytná technická opatření (např. zvýšení hodnoty odporu uzemnění zařízení apod.).

1.3.4.4 Venkovní vedení

V uhelných lomech přicházejí do úvahy jednoduchá a dvojité venkovní vedení na ocelových příhradových stožárech se stupňovitými betonovými základy a dále jednoduchá venkovní vedení na betonových podpěrách nebo na příhradových ocelových stožárech s hranolovými betonovými základy. Kromě toho jsou v prostoru lomu a výsypky, eventuálně u odvodňovacích vrtů v předpolí lomu, používána přesuvná venkovní vedení do 35 kV AC, která jsou přesouvána s technologickými zařízeními těžební techniky apod.. [10]

Pro venkovní vedení se používají vodiče AlFe se zatěžováním podle ČSN 33 2000-5-523.

Venkovní vedení dělíme na stabilní a přesuvná. [8]

Stabilní venkovní vedení se používá v místech, kde toto vedení není ohroženo pohyby podloží, nebo není předpoklad, že se toto vedení bude přemísťovat. Stabilní venkovní vedení se provádí podle ČSN EN 50341-1(33 3300) a ČSN 33 3301. [8]

Přesuvné venkovní vedení se používá v oblastech, kde je toto vedení ohroženo pohyby podloží (např. výsypky), nebo se tato část vedení přemísťuje podle potřeby báňskotechnologických požadavků. Přesuvné venkovní vedení se provádí podle NPD 31-3-31. [8]

Trasy venkovních vedení se volí tak, aby umožňovaly pohyb mechanizačních prostředků při práci na technologickém zařízení (např. pohyb autojeřábů podél pásové dopravy).

Pro napájení všech odběrných míst povrchového lomu se doporučuje použít v maximální míře venkovních vedení. [8]

Ve srovnání s kabelovým vedením, se venkovní vedení vyznačuje vyšší induktivní reaktancí a nižší kapacitní reaktancí. Vlivem nerovnoměrného umístění vodičů nad zemí a vzájemnému postavení vodičů navzájem je reaktance jednotlivých vodičů rozdílná a proto je zpravidla hlavní transformovna vybavena kompenzací nesymetrie venkovních vedení.

Venkovní vedení v povrchových dolech se používá pro rozvod napětí 3PE AC-50Hz 35(22)kV IT a to jak mezi hlavní transformovnou a hlavními spínacími stanicemi, tak k přesuvným transformovnám.

1.3.4.5 Kabelová vedení

V uhelných lomech přicházejí do úvahy dva druhy kabelových vedení a to kabelové vedení stálé a kabelové vedení pohyblivé (přesuvné).

Kabelové vedení stálé se navrhuje všude tam, kde se nebude jeho trasa dlouhodobě měnit. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla zemními kabely s celoplastovými plášti uloženými v zemi. Kabely mají různé průřezy Cu nebo Al. [10]

V místech, kde nelze používat venkovní vedení, se používají kabelová přesuvná vedení. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla šňůrami a vlečnými kabely s Cu jádry. Tato vedení jsou uložena na povrchu terénu. Kabelová vedení jsou vedena společně v kabelových trasách. Pro kabelové trasy se obvykle využívá střední část dálkové pásové dopravy (napájení poháněcích stanic pásové dopravy). Při volbě trasy a způsobu uložení kabelů v trase je nutno respektovat prostorové uspořádání sítí různého technického vybavení, dále požadavky na mechanickou ochranu kabelů při křížování s komunikacemi nebo při křížování kabelů navzájem. [10]

Kabelová vedení, pro napájení velkostrojů, jsou položena volně na zemi. Pro manipulaci s přesuvnými kabelovými vedeními se využívají kabelové vozy, na kterých je navinuta dostatečná kabelová rezerva pro pohyb velkostroje. Podle délky porubní (zakládací fronty) se zapojuje několik kabelových vozů za sebe.

V jedné těžební lokalitě se používají dva až tři průřezy vodičů kabelového vedení. Minimální průřez je určen zkratovými poměry a maximální průřez je určen konečnou podobou elektrické sítě. Jednotnost v navržených průřezích usnadňuje u kabelových rozvodů, včetně kabelových vozů, operativní a zejména rychlou činnost údržby, při provozních překládkách nebo při havarijních situacích. Doporučuje se používat vlečné kabely o průřezu jader od 35 mm² do 185 mm². [8]

Ve srovnání s venkovním vedením se kabelové vedení vyznačuje nižší induktivní reaktancí a vyšší kapacitní reaktancí. Na rozdíl od venkovních vedení je vzdálenost vodičů navzájem i vůči zemi stejná, proto je reaktance všech vodičů stejná (symetrická).

1.3.4.6 Trakční vedení

Na elektrizovaných důlních drahách se používají různé druhy trakčního vedení podle toho, jaký mají důlní tratě charakter, význam a je-li jejich poloha stálá, nebo časově proměnlivá, v závislosti na činnosti těžebního zařízení: [10]

- a) na stálých důlních tratích se používá zpravidla polokompenzované svislé řetězovkové trolejové vedení s nosným lanem AlFe a trolejí Cu, anebo prostého trolejového vedení s trolejí Cu. Trolejové vedení je zavěšeno na příčných lanových převěsech nebo branách, nebo na výložnicích stožárů umístěných v betonových základech (hranolových nebo stupňovitých). U dvoukolejných důlních tratí se tyto stožáry umísťují zpravidla vně trati,
- b) na důlních tratích prostorově proměnlivých se používá příchytkové trolejové vedení s trolejí Cu. Trolejové vedení je zavěšeno na příchytkových stožárech, uchycených ke kolejnicím trati tak, že při jejich přemísťování se přemísťuje i příchytkové vedení,
- c) u obou druhů trolejového vedení se jako druhého (zpětného) vedení používá kolejníc, které se za tímto účelem propojují vodivými lanovými propojkami Cu, případně Al odpovídajícího průřezu.

Součástí trakčního vedení jsou rovněž vodiče pro vedení elektrického proudu k trolejovému vedení (zesilovací, obcházecí a napájecí vedení) umístěná na podpěrách trolejového vedení elektrizované trati nebo na podpěrách samostatně stojících a dále vedení kabelová (přívodní a zpětná), mezi měnícírou a trolejovým a kolejnicovým vedením trati. [10]

Součástí trakčního vedení, s potenciálem přívodního vedení, je ochrana proti nebezpečnému dotyku s živými částmi trakčního vedení na objektech umístěných nad elektrizovanými kolejemi. [10]

1.3.4.7 Napojení povrchového lomu na veřejnou distribuční síť

Napojení povrchového dolu na veřejnou distribuční síť je provedeno minimálně dvěma linkami o napětí 3PE AC-50Hz 110 kV TT, přivedenými do hlavní transformovny. Jeli povrchový důl prostorově rozsáhlejší, může být napojení na veřejnou distribuční síť provedeno na více místech (vždy dvěma linkami). Pro zvýšení spolehlivosti dodávky mohou být místa napojení na veřejnou distribuční síť (hlavní transformovny a hlavní spínací stanice) propojeny do okruhu – okružní napájení.

1.3.5 Elektrické provozovny

1.3.5.1 Elektrické stanice

V uhelných lomech se navrhují tyto typy elektrických stanic do 35 kV střídavého napětí (AC) 50 Hz a 1,5 kV stejnosměrného napětí (DC): [10]

a) transformovny a rozvodny do 35 kV (AC), 50 Hz:

- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou skříňové nebo kobkové, výjimečně tzv. stykačové rámy;
- přesuvné - zpravidla na ližinách pro snadné přemísťování. Provedení je buď blokové (pro větší výkony), skládající se z několika samostatných funkčních částí (bloků), nebo kioskové (pro menší výkony), kde je v kiosku více funkčních částí;

b) měnírny a rozvodny 3 kV (DC):

- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou většinou skříňové;
- přesuvné - zpravidla na podvozku železničního vozu. Rozvodny jsou skříňového provedení.

Stabilní elektrické stanice se navrhují v prostorech, které nebudou dotčeny těžební technologií. Součástí větších stabilních elektrických stanic je kompresorovna, akumulátorovna a centrální kompenzace (dokompenzování) lomu. [10]

Přesuvné elektrické stanice se navrhují v prostorech, které se budou těžební technologií často měnit. Z ekonomických důvodů se přesuvné elektrické stanice budují v prostorech, kde je předpoklad zachování této stanice po dobu minimálně dvou let.

Z hlediska rozvodu elektrické energie v uhelném lomu se jedná zpravidla o paprskový rozvod, kdy z hlavní tzv. vstupní elektrické stanice (tam, kde je fakturační měření pro nákup elektrické energie), která je stabilní elektrickou stanicí, jsou napájeny podružné elektrické stanice, které mohou být stabilní nebo přesuvné, podle toho, jak dalece jsou takovéto elektrické stanice předsunuty k technologickému zařízení.

Podle důležitosti jednotlivých provozoven, nebo jednotlivých technologických zařízení, jsou dodávky elektrické energie pro uhelné lomy, kromě napájení hlavních čerpacích stanic, zařazeny do 3. stupně, tj. mezi dodávky, při které nemusí být zajištěny zvláštními opatřeními. [10]

1.3.5.2 Hlavní transformovna a hlavní spínací stanice

Hlavní transformovna a hlavní spínací stanice jsou často sloučeny v jediné rozvodně. Napětí přivedené z veřejné distribuční sítě je podle potřeby transformováno a prostřednictvím hlavní spínací stanice rozvedeno venkovním vedením do těžebního prostoru povrchového dolu. Pokud je povrchový důl napájen prostřednictvím více hlavních transformoven, propojují se tyto navzájem linkami, stejně jako hlavní napájecí stanice. Tím se zvyšuje spolehlivost interní distribuční sítě.

Podle velikosti přenášeného výkonu se používají tyto napětíové hladiny: [8]

- a) 110 kV AC, 50Hz pro předpokládané příkony nad 40 MVA,
- b) 35 kV AC, 50Hz pro předpokládané příkony mezi 20 MVA až 25 MVA,
- c) 22 kV AC, 50Hz pro předpokládané příkony mezi 15 MVA až 18 MVA,
- d) 6 kV AC, 50Hz pro předpokládané příkony mezi 2,5 MVA až 10 MVA.

Hlavní transformovna je obvykle vybavena centrální kompenzací účinníku $\cos \varphi$, může být také vybavena kompenzací nesymetrie venkovního vedení (při rozsáhlejší síti venkovního vedení).

Z hlavní spínací stanice (stanic) je energie rozváděna do těžebního prostoru venkovními linkami k přesuvným transformovnám, rozmístěným na vhodných místech těžebního prostoru.

1.3.5.3 Přesuvné transformovny a podružná spínací stanice

Podobně, jako u hlavní transformovny, je i přesuvná transformovna sloučena s podružnou spínací stanicí. Venkovní vedení je svedeno do přesuvného kiosku, ve kterém se nachází transformátor vlastní spotřeby s výkonem 100 kVA a přívodním vypínačem transformátoru 35/6 kV Dy1 s výkonem 4 MVA (případně 6,3 nebo 10 MVA). Sekundární vinutí je následně zavedeno do přesuvné spínací stanice na přívodní vypínač přípojníc. Na přípojnících jsou dále čtyři pole s vypínači pro kabelové vývody 6 kV a jedno pole měření. Na sekundární straně transformátoru je přes pojistky připojena kompenzační baterie transformátoru. Transformátor je v olejovém provedení a proto musí být pod ním umístěna zachytávací jímka pro případný únik oleje. [10]

Soustavu přesuvné transformovny a podružné spínací stanice nazýváme „Transformátorová stanice napětí“ (dále jen TSN). V posledních letech se začíná používat novější typ přesuvné rozvodny, kde jsou soustředěny jak ovládání 35 kV části, tak i 6 kV části. Počet polí 6 kV vývodů byl navýšen ze čtyř na šest. Navíc rozvodna je řízena a monitorována řídicím systémem s přenosem na energetický dispečink lomu.

Umístění přesuvné transformovny je nutné řešit s ohledem na báňské, vodohospodářské a dopravní řešení v povrchovém lomu. Plocha stanoviště pro umístění přesuvné transformovny musí být

umístěna tak, aby se zabránilo zaplavování stanoviště vodou při přívalových deštích apod. Stanoviště přesuvných transformoven se provádí podle NPD 31-5-51. [10]

1.3.6 Elektrická zařízení

1.3.6.1 Elektrická zařízení pro TC

Elektrická zařízení TC, tvořeného souborem technologických zařízení pro dobývání (rýpadla), dopravu (dálkovou pasovou dopravu) a zakládání (zakladače), jsou napájeny vlečnými kabely z přesuvných transformoven 35/6 kV. Součástí těchto elektrických zařízení jsou i kabelové vozy které se mohou pohybovat samostatně nebo jsou součástí velkstroje. [10]

1.3.6.2 Elektrická zařízení jednoúčelová

V prostorech uhelných lomů se mohou nacházet elektrická zařízení jednoúčelová, která mají zvláštní význam, nebo se u nich počítá zpravidla s krátkodobou životností nebo omezeným provozem.

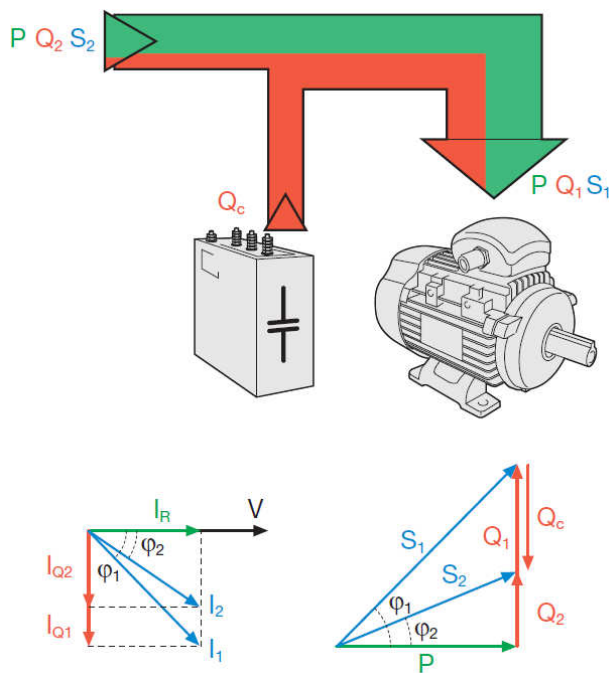
Mezi tato jednoúčelová elektrická zařízení patří zařízení: [10]

- a) prozatímní;
- b) stavenišť a demolic;
- c) výpočetní techniky;
- d) pojízdných a převozních prostředků.

2 Teoretický rozbor kompenzace jalové energie

2.1 Základní teoretické úvahy o kompenzaci jalového výkonu.

Výroba, přenos, rozvod a také spotřeba elektrické energie jsou realizovány v trojfázové střídavé soustavě. Pro provoz některých zařízení je nutné vytvořit elektromagnetické nebo elektrické pole. To se vytváří buď vinutími (indukčností) nebo elektrodami (kapacitou). Na indukčnosti dochází k fázovému posunu proudu za napětím, na kapacitě se fázově opožďuje napětí za proudem. Chování jednotlivých prvků elektrizační soustavy, stejně jako spotřebičů elektrické energie, je možno popsat jejich impedancí, která v sobě zahrnuje jak složku činnou (ohmickou), tak i složku jalovou (induktivní nebo kapacitní). Jalovou je energie nazývána z toho důvodu, že energii vloženou do této impedance nelze nijak zužítkovat, ale přesto se přenáší mezi zdrojem a spotřebičem. Při tomto přenosu vznikají na jednotlivých prvcích přenosových a distribučních sítí ztráty, které jsou ve formě tepla uvolňovány do okolního prostředí. Kompenzací této jalové složky se impedance změní a tím se ztráty částečně eliminují. [7]

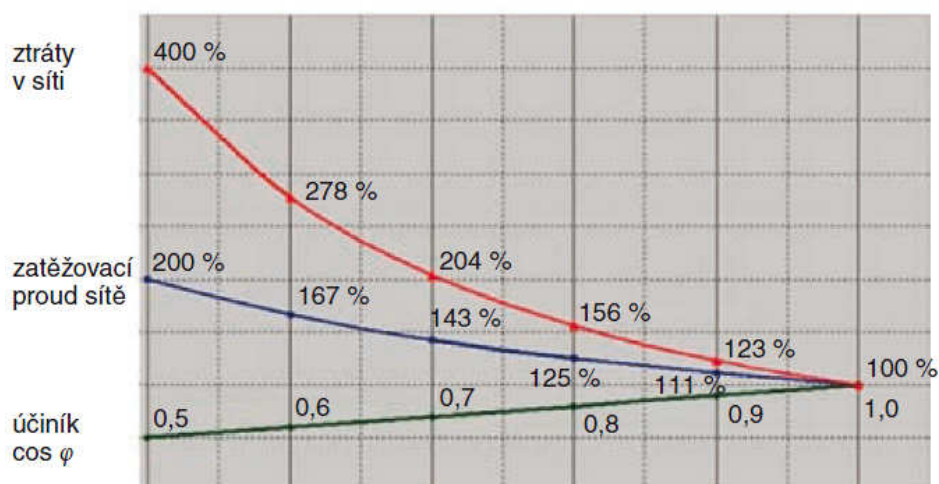


Obr. 2.1 Princip kompenzace jalové energie [1]

Kondenzátory, připojené sériově ke spotřebičům, mění charakteristiku sítě, zatímco kondenzátory připojené paralelně mění charakteristiku zatížení sítě.

Důsledkem špatného účinníku je:

- snížení využití stávajících rozvodných elektrických zařízení (snížení přenášeného činného výkonu)
- zvýšení pořizovacích nákladů všech zařízení, dimenzovaných podle zdánlivého výkonu, jako jsou například transformátory, vypínače a další spínací zařízení, jističí přístroje a ochrany, apod.
- navýšení ztrát v rozvodu elektrické energie (ztrátový výkon je závislý na velikosti druhé mocniny jalového výkonu)
- zvýšení úbytku napětí v rozvodu elektrické energie (zhoršení kolísání napětí v elektrizační soustavě)
- nepříznivě ovlivňuje stabilitu přenosu elektrické energie, zhoršuje spolupráce mezi elektrárnami při předávání velkých jalových výkonů, snižují se účinnosti alternátorů, transformátorů a dalších zařízení
- uvedené důsledky mají vliv na velikost sazby za spotřebovanou elektrickou energii, neboť rozvodné podniky uplatňují finanční postih velkoodběru pracujícího se špatným účinníkem. [6]



Obr. 2.2 Vliv účinníku na ztráty v přenosové soustavě [12]

Jak je patrné z obr. 2.2 při zhoršení účinníku $\cos \varphi$ na hodnotu 0,5 dojde k navýšení přenášeného proudu v přenosové soustavě na dvojnásobek, oproti proudu při $\cos \varphi = 1$ a k navýšení ztrát dokonce na čtyřnásobek.

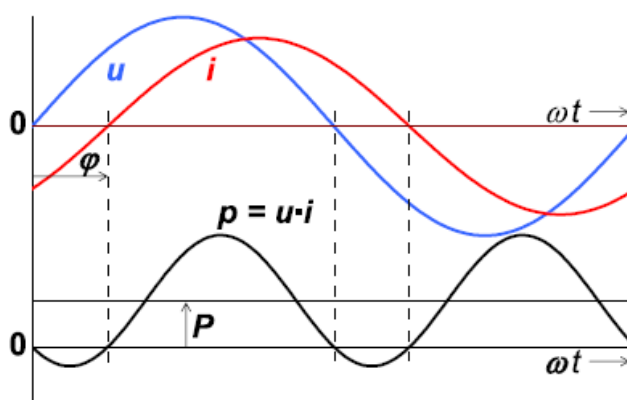
2.2 Základní pojmy

Zdánlivý výkon S (apparent power)

je matematicky vytvořená veličina pro jednofázové (dvoupólové) obvody, jako součin efektivní hodnoty fázového napětí U a fázového proudu I : [11]

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [\text{VA}] \quad (2.1)$$

Pozn. Platí pro sinusový průběh napětí U a proudu I .



Obr. 2.3 Jednofázový systém se sinusovými průběhy [11]

a pro třífázové obvody jako součet zdánlivých výkonů v jednotlivých fázích. Je to veličina, která souhrnně vyjadřuje požadavky na napěťové a proudové dimenzování jednotlivých částí elektroenergetického systému - zdánlivý výkon určuje velikost transformátorů, přenosovou schopnost rozvodných vedení, apod.. [11]

Existence harmonických zvyšuje zdánlivý výkon o tzv. **deformační výkon**, který reprezentuje vliv harmonických složek. Vzorec pro výpočet zdánlivého výkonu potom je: [11]

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (2.2)$$

Činný výkon P (active power)

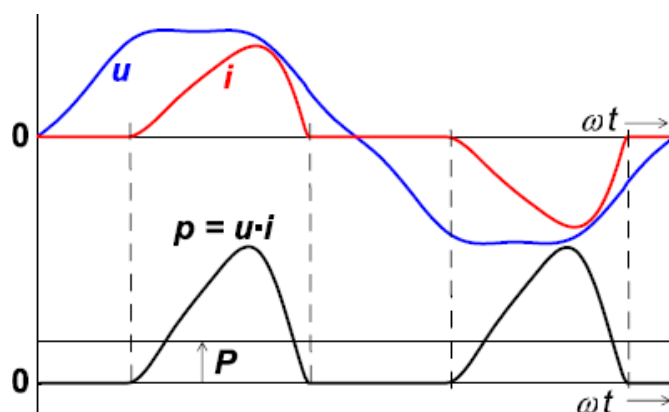
je fyzikální veličina, která vyjadřuje množství elektrické energie W , přenesené (vyrobené, spotřebované) v časovém intervalu T , přepočtené na časovou jednotku: [11]

$$P = \frac{W}{T} = \sqrt{S^2 + D^2} \cdot \cos \varphi_1 \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

Jalový výkon Q (reactive power)

reprezentuje střídavou složku okamžitého výkonu, tj. energii periodicky se přelévající mezi zdrojem a zátěží. Jeho střední hodnota je nulová. [11]

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \cdot \sin \varphi_1 \quad [\text{var}] \quad (2.4)$$



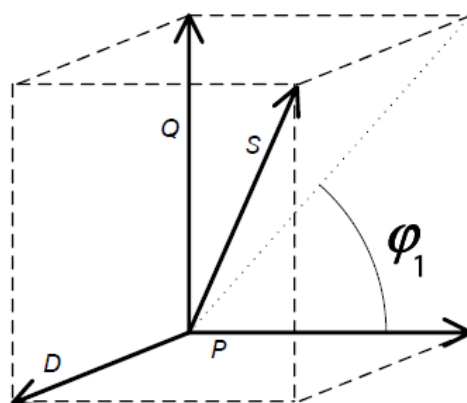
Obr. 2.4 Jednofázový systém s obecně periodickými průběhy [11]

Deformační výkon D (torsion power)

reprezentuje výkon přenášený harmonickými složkami: [11]

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad [\text{VA}] \quad (2.5)$$

Pozn. Jalový a deformační výkon se společně označují jako neaktivní výkon (non-active power).



Obr. 2.5 Vztah mezi výkony [11]

Účinník $\cos \varphi_1$

neboli účinník první harmonické, je kosinus úhlu fázového posunu mezi 1. harmonickou napětí a proudem: [11]

$$\cos \varphi_1 = \arctg \frac{Q}{P} \quad [-] \quad (2.6)$$

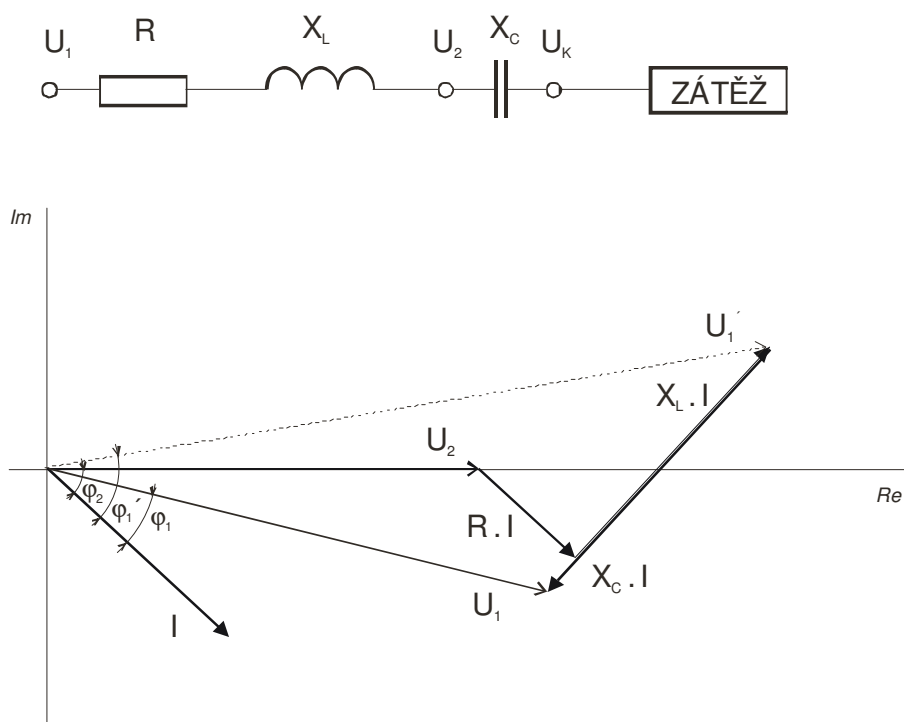
Skutečný účinník (power factor)

je účinník, který v sobě zahrnuje i deformační výkon, tedy vliv harmonických proudů a napětí. Je významným ukazatelem, stanoveným, jako poměr činného výkonu P a zdánlivého výkonu S : [11]

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots}{U \cdot I} \quad [-] \quad (2.7)$$

2.3 Střídavá síť se sériovým kondenzátorem

Zjednodušené jednopólové schéma s a tomu odpovídající vektorový diagram jsou uvedeny na obr. 2.6



Obr. 2.6 Střídavá síť se sériovým kondenzátorem [7]

Z vektorového diagramu je vidět, že pro úbytek napětí platí vztah: [7]

$$\Delta \bar{U} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = [R + j \cdot (X_L - X_C)] \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \quad (2.8)$$

a pro jeho reálnou složku vztah: [7]

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X_L \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.9)$$

sériový kondenzátor zmenší reaktanci vedení, a tím i úbytek napětí na: [7]

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + (X_L - X_C) \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.10)$$

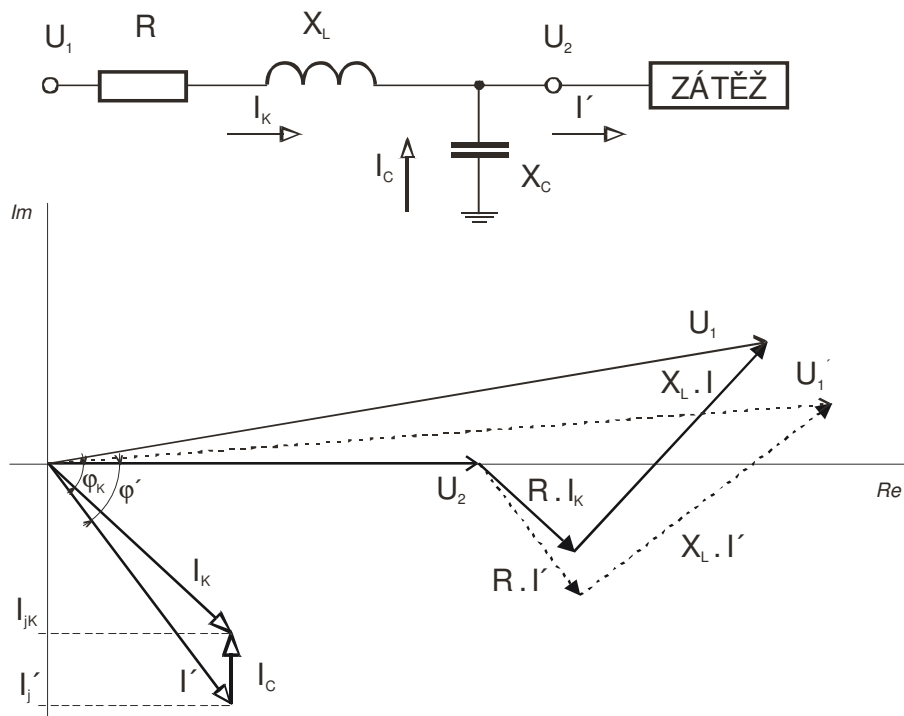
napětí za kondenzátorem bude: [7]

$$U_K = U_2 + X_C \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.11)$$

Kondenzátor v sérii tedy působí jako jakýsi samočinný regulátor napětí na spotřebiči. Z hlediska hospodárnosti však není tento způsob zlepšování napěťových poměrů u spotřebičů optimální a je ekonomicky zdůvodnitelný pouze pro velmi dlouhá vedení s vysokým poměrem X_L/R . [7]

2.4 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem

Při připojení paralelního kondenzátoru dojde ke změně fázoru proudu, a sice z velikosti I' na velikost I_K , jak je zobrazeno ve zjednodušeném schématu a vektorovém diagramu na obr. 2.7 [7]



Obr. 2.7 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem [7]

Celkový proud vedení se potom změní na: [7]

$$\bar{I}_K = \bar{I}' + \bar{I}_C \quad (2.12)$$

Za předpokladu, že činný výkon zůstane konstantní, změní se po připojení kondenzátoru fázový posuv z hodnoty φ na hodnotu φ_K a poměr jalových složek proudů I_{jK} a I_j bude stejný jako tangenty příslušných úhlů: [7]

$$\frac{I_{jK}}{I} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} = k \quad (2.13)$$

Tzv. stupeň kompenzace obdržíme, odečteme-li koeficient kompenzace od jedné: [7]

$$k_p = 1 - k = \frac{I - I_{jK}}{I_j} = \frac{I_C}{I_j} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (2.14)$$

výkon kondenzátoru potřebný ke změně fázového posuvu z hodnoty φ na hodnotu φ_K : [7]

$$Q_C = U \cdot I_C = U_2 \cdot \bar{\omega} \cdot C = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K) \quad (2.15)$$

ztráty ušetřené kompenzací: [7]

$$\Delta P_{u_s} = \Delta P - \Delta P_K = \frac{R}{U_s^2} \cdot [(P^2 + Q^2) - P^2 + (Q - Q_C)^2] = \frac{R}{U_s^2} \cdot [Q_C \cdot (2Q - Q_C)] \quad (2.16)$$

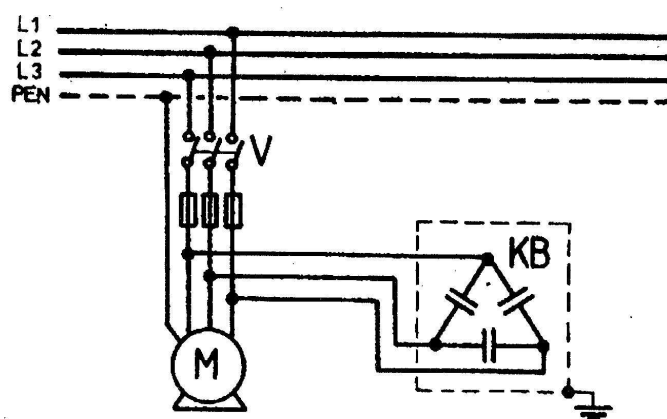
Snižování ztrát při přenosu elektrické energie pomocí paralelní kompenzace je jedním z nejdůležitějších a ekonomicky nejvýhodnějších opatření. Ostatní metody, jako např. zvyšování průřezu vedení, zvyšování jmenovitého napětí apod., jsou ekonomicky méně výhodné a technicky často obtížně proveditelné. [7]

2.5 Kompenzace v sítích odběratelů elektrické energie

2.5.1 Druhy kompenzace

2.5.1.1 Individuální (jednotlivá) kompenzace

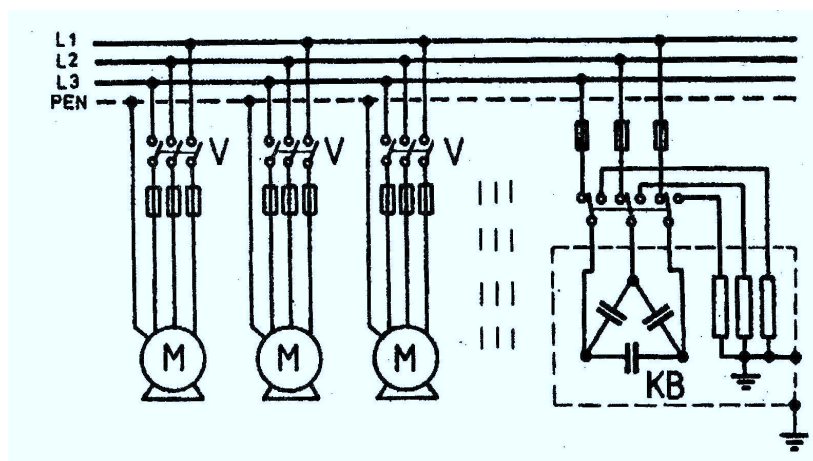
Kompenzační zařízení je připojeno přímo na svorky spotřebiče, nebo v jeho těsné blízkosti. Od jalového výkonu spotřebiče je tedy odlehčena celá síť od zdroje až po spotřebič. Úspory ztrát jsou nejvyšší, avšak využití kompenzačního prostředku je závislé na provozu kompenzovaného zařízení. Používá se např. pro kompenzaci magnetizačního proudu asynchronních motorů, transformátorů, zářivkových a výbojkových svítidel atd.. [7]



Obr. 2.8 Individuální kompenzace [6]

2.5.1.2 Skupinová kompenzace

Kompenzační zařízení je připojeno na přípojnících rozvaděče pro skupinu spotřebičů, např. je to kompenzace na hlavních rozvaděcích vn/nn v rozvodech průmyslových podniků. V tomto případě je odlehčen úsek vedení od tohoto rozvaděče ke zdroji. Vzhledem k soudobosti spotřebičů vychází kompenzační výkon menší, a je nutná jeho regulace. [7]



Obr. 2.9 Skupinová kompenzace [6]

2.5.1.3 Centrální kompenzace

Je kompenzace připojená na přípojnice vstupní trafostanice podniku. Vzhledem k soudobosti chodu spotřebičů opět klesá potřebný kompenzační výkon. Rovněž je nutná regulace a většinou je třeba řešit kompenzaci na úrovni vysokého napětí, což představuje vyšší náklady. [7]

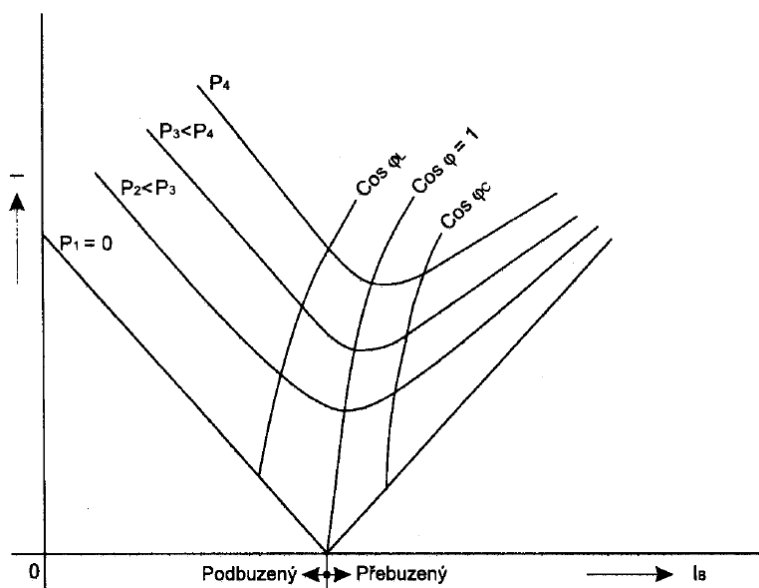
2.5.1.4 Kombinovaná kompenzace

Je kombinací předchozích variant. Ve skutečnosti bývá poměrně dost rozšířena, zejména v rozsáhlých průmyslových sítích. [7]

2.6 Základní rozdělení technických prostředků pro kompenzaci jalového výkonu

2.6.1 Rotační kompenzační zařízení

Mezi rotační kompenzační zařízení patří synchronní kompenzátory a synchronní motory. Synchronní elektrický stroj se vyznačuje zejména tím, že se mu magnetizační energie dodává samostatným budícím vinutím, napájeným ze zdroje stejnosměrného proudu. Synchronní elektromotory se používají v aplikacích, kde lze očekávat poměrně stabilní zátěžový moment, tedy např. pro pohony čerpadel, kompresorů, ventilátorů, rotačních pecí apod.. Měníme-li velikost budícího proudu při stálém napájecím napětí a stálém kmitočtu, je za předpokladu stálého zátěžového momentu stálý i činný výkon motoru. Změnou velikosti budícího proudu můžeme měnit účinník odběru motoru, a to jak v oblasti induktivní, tak i v oblasti kapacitní. Závislost proudu statoru na budícím proudu při stálém výkonu má tvar tzv. V-křivek. viz obr. 2.10 . [7]



Obr. 2.10 V-křivky synchronního stroje [7]

K dosažení stálého účinníku, při různém zatížení, je třeba vhodným způsobem řídit budící proud. Regulátory, jimiž se synchronní motory často osazují, mohou zajistit chod motoru i při změnách činného zatížení, buď s konstantním účinníkem nebo s konstantním jalovým výkonem. Těchto vlastností synchronních motorů lze velmi účelně využít ke kompenzaci jalového výkonu paralelně připojených spotřebičů. V případě, že je to ekonomicky zdůvodnitelné, jsou pro kompenzaci jalového výkonu používány synchronní kompenzátory. Jsou to vlastně synchronní motory pracující naprázdno, tedy s minimálním činným výkonem a relativně velkým rozsahem regulace jalového výkonu.

Synchronní stroje jsou nevhodné ke kompenzaci spotřebičů, jejichž potřeba jalového výkonu se dynamicky mění, jako např. u obloukových pecí, dynamicky řízených reverzačních stejnosměrných pohonů apod. [7]

V těchto případech dochází v době, než synchronní stroj díky zpoždění zvýší svůj kompenzační výkon, k nedokompenzování, zatímco ještě po jistou dobu, kdy již potřeba kompenzačního výkonu pominula, dále tento výkon dodává. To má negativní dopad na výsledné kolísání napětí, které na změnách jalového výkonu závisí. Synchronní stroje se využívají jako centrální kompenzace velkých průmyslových sítí. Připojují se k přípojnícím podružných rozveden 6 kV nebo přes samostatný transformátor k přípojnícím hlavních rozveden. Kompenzace jalového výkonu pomocí synchronních strojů je v poslední době v útlumu. Provoz synchronních strojů je spojen se spotřebou činné energie, vyššími nároky na údržbu zařízení a také vyššími nároky na obestavěný prostor. [7]

2.6.2 Statické kompenzátory

Na rozdíl od rotačních kompenzátorů nejsou statické kompenzátory závislé na dodávce činné energie. V klasickém pojetí jsou tvořeny pasivními kompenzačními prvky, jako jsou výkonové kondenzátory a dekompenzační tlumivky. V pojetí novém to jsou tzv. aktivní filtry. [7]

2.6.2.1 Prosté kondenzátory

Jedním z mnoha typů výkonových kondenzátorů je kondenzátor určený pro zlepšení účinníku. Je to kondenzátor, jehož použití vyžaduje zabezpečení těchto tří hlavních požadavků: [7]

- 1) tepelná stabilita při vysokém jalovém výkonu,
- 2) odolnost proti přepětí,
- 3) spolehlivost a bezpečnost provozu.

Po připojení na napětí má jednofázový kondenzátor jalový výkon Q_C podle vztahu: [7]

$$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot C \quad (2.17)$$

Dále víme, že

$$Q_C = U \cdot I \quad (2.18)$$

a z toho pak

$$Q_C = \frac{I^2}{\omega \cdot C} \quad (2.19)$$

Pro trojfázový kondenzátor zapojený do trojúhelníka platí [7]

$$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_D \quad (2.20)$$

dále

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2.21)$$

a z toho pak

$$Q_C = \frac{I^2}{\omega \cdot C_D} \quad (2.22)$$

Analogicky pro zapojení kondenzátorů do hvězdy platí [7]

$$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_Y \quad (2.23)$$

dále

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2.24)$$

a z toho pak

$$Q_C = \frac{3 \cdot I^2}{\omega \cdot C_Y} \quad (2.25)$$

Podmínkou pro platnost předchozích výrazů je symetrie trojfázového zapojení, tj. stejné hodnoty všech kondenzátorů. [7]

Kvalitu kondenzátorů výrazně ovlivňují ztráty. Ztráty sestávají z několika komponent, např. ztráty dielektrika, vnitřních pojistek, vybíjecích odporů, spojů atd.. Ztráty jsou reprezentovány tangentou ztrátového úhlu kondenzátoru $\operatorname{tg} \delta$. Ten udává poměr mezi ekvivalentním sériovým odporem a kapacitní reaktancí kondenzátoru při specifikovaném sinusovém napětí a kmitočtu. Celkové ztráty kondenzátoru můžeme stanovit z rovnice: [7]

$$P_Z = Q_C \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2.26)$$

Pokud vycházíme ze sinusového průběhu napětí, tangenta ztrátového úhlu je rozdílná pro různé technologie výroby. Tangenta ztrátového úhlu rovněž závisí na teplotě, a to tak, že roste nejenom s rostoucí teplotou, ale i s teplotou klesající pod 0°C. [7]

Pro neharmonický průběh je třeba uvažovat ztráty pocházející od všech harmonických. Potom pro celkové ztráty kondenzátoru platí: [7]

$$P_S = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot Q_n \cdot \operatorname{tg} \delta_n = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot U_n^2 \cdot f_n \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2.27)$$

Velký vliv na životnost kondenzátorů má provozní teplota. Nadměrná teplota zrychluje elektrochemickou degradaci dielektrika. Velmi rychlé změny teploty mohou vyvolat degradaci částečnými výboji v dielektriku. Kde není možné zajistit vhodné podmínky chlazení, musí být použity kondenzátory speciální nebo s vyšším jmenovitým napětím. [7]

Další významnou vlastností kondenzátorů je frekvenční závislost jejich impedance. Kapacitní reaktance X_C , která je jalovou složkou impedance, je dána vztahem: [7]

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2.28)$$

kde

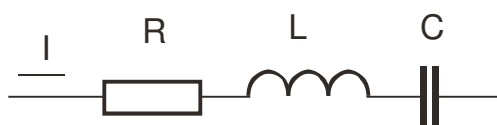
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2.29)$$

Z toho vyplývá, že se zvyšujícím se kmitočtem reaktance klesá. Připojíme-li tedy kondenzátor do sítě, kde budou kromě zdrojů proudu základního kmitočtu i zdroje harmonických, bude pro ně tento kondenzátor představovat velmi nízkou impedanci. Celková efektivní hodnota proudu protékajícího kondenzátorem vlivem harmonických vzroste a tento proud bude přetěžovat jednak samotný kondenzátor, ale i části sítě mezi zdrojem harmonických a kondenzátorem. [7]

Prosté kondenzátory lze použít pro kompenzaci jalového výkonu v sítích nízkého i vysokého napětí s malými úrovněmi energetického rušení, tj. v sítích, kde podíl instalovaného výkonu nelineárních spotřebičů nepřesahuje 10 až 15 % výkonu napájecího transformátoru. [7]

2.6.2.2 Chráněné kompenzační sekce

Základní zapojení kompenzačního obvodu lze redukovat na velmi jednoduchý sériový článek *RLC*.



Obr. 2.11 Článek RLC [7]

Je zřejmé, že součástky dle obr. 2.11 jsou schopny fungovat v širokém spektru kmitočtů, v němž mají zvláštní postavení jmenovitý pracovní kmitočet f_n a rezonanční kmitočet f_r . [7]

Zavedeme si nejprve pomocné veličiny:

řád harmonické (ve vztahu k oběma kmitočtům) n , takže rezonance nastává při: [7]

$$n_r = \frac{f_r}{f_n} \quad (2.30)$$

a činitel zatlumení: [7]

$$p = \frac{I}{n_r^2} \quad (2.31)$$

Ochranné tlumivky se aplikují za podmínky, že $X_L \ll X_C$, takže: [7]

$$X_L = -p \cdot X_C \quad (2.32)$$

Činitel zatlumení p se udává buď v poměrných číslech [-], nebo v procentech [%].

Je lhostejné, zda kompenzační kondenzátory jsou ve spojení Y nebo D , je však výhodné veškeré úvahy provádět ve vztahu k napětí fázovému, a tedy počítat s fázovými reaktancemi kondenzátoru (X_{Cn}), fázovými reaktancemi tlumivek (jedna cívka X_{Ln}) a fázovým napětím U_{fn} .

Pro veřejné běžné sítě je: [7]

$$U_{fn} = 400\sqrt{3} = 231 \text{ V} \quad (2.33)$$

Reaktance kompenzačního članku: [7]

$$X_{LC} = (1 - p) \cdot X_C \quad (2.34)$$

Reaktance kompenzačního članku (kondenzátoru s příslušnou ochrannou tlumivkou) je při $f < f_r$ vždy nižší než výchozí reaktance kondenzátoru. [7]

Kompenzační kondenzátory se u nás obvykle optimalizují na kmitočet $f_s = 50 \text{ Hz}$ a napětí $U_{Cn} = 400 \text{ V}$, čímž se respektuje i zvýšení napětí vlivem reaktance předřazených tlumivek nebo sítě. Hodnotu reaktance určíme z udané hodnoty reaktivního výkonu pro všechny fáze: [7]

$$X_C = \frac{U_{Cn}^2}{Q_C} \quad (2.35)$$

Výkon kondenzátoru při jiném fázovém napětí: [7]

$$Q_C = 3 \cdot U_f^2 \cdot \frac{1}{X_C} \quad (2.36)$$

a při jiném kmitočtu ω_2 a jiném napětí (U_2): [7]

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{(U_2)^2 \cdot \omega_2}{(U_1)^2 \cdot \omega_1} = Q_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \cdot \frac{f_2}{f_1} \quad (2.37)$$

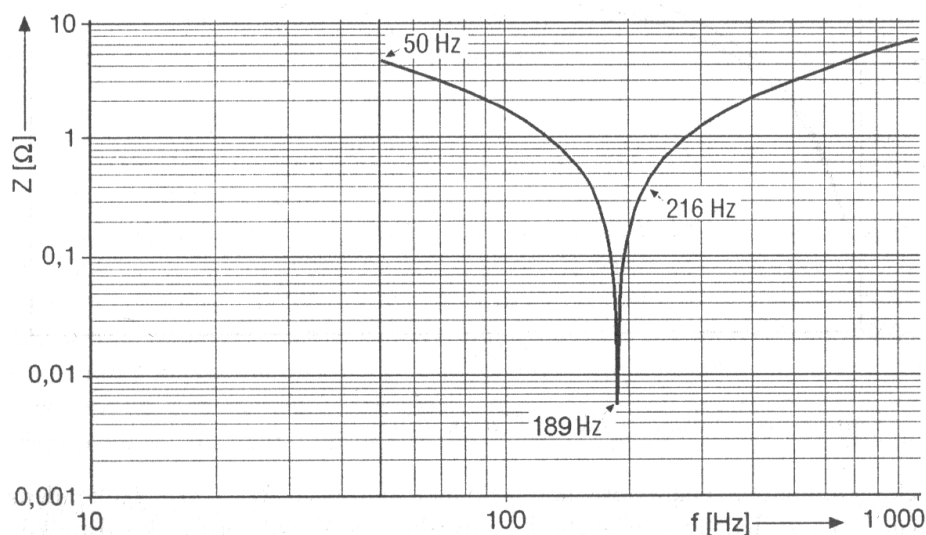
Tento vztah je možno použít např. při přepočtu kompenzačního výkonu kondenzátoru, jehož jmenovitá hodnota napětí je jiná než napětí sítě.

Z uvedených rovnic vyplývá, že je-li kondenzátoru předřazena tlumivka, pak kompenzační výkon vzniklého LC článku bude nižší. V takovém případě se musí přepočítat instalovaný výkon (uvedený na štítku kondenzátoru). [7]

2.6.2.3 Průběh impedance zatlumeného kompenzačního článku

Pro řadu dalších úvah a výpočtů chování kompenzátorů v sítích je užitečné znát kmitočtový průběh impedance, a to buď pro jednotlivé kompenzační články, či pro celé instalace. [7]

Pokud vyjdeme z rovnic pro rezonanční *RLC* obvod a použijeme konkrétní hodnoty např. pro kompenzační článek s kondenzátorem o výkonu 40 kvar pro 50 Hz, pak reaktance kondenzátoru bude 4,839 Ω , reaktance tlumivky 0,339 Ω a činný odpor tlumivky bude 0,0062 Ω . Kmitočtová charakteristika tohoto *RLC* obvodu znázorněná v logaritmických stupnicích je uvedena na obr. 2.12.



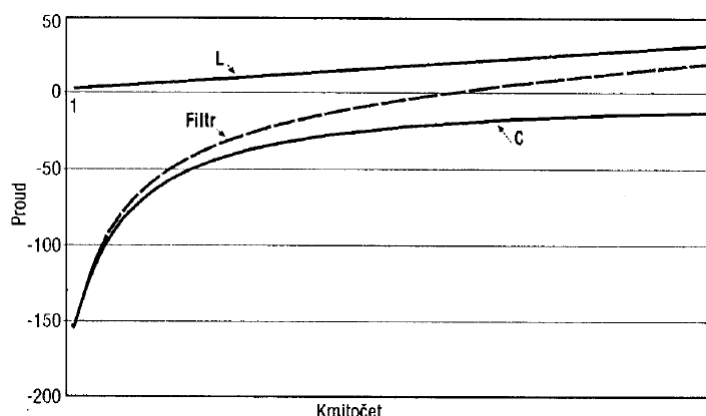
Obr. 2.12 Kmitočtová charakteristika *RLC* obvodu s ochrannou tlumivkou [7]

Z rezonanční křivky je vidět, že impedance kompenzačního článku s ochrannou tlumivkou je pro nejchoulostivější kmitočet HDO $216^{2/3}$ Hz vlastně stejná, jako pro prostý kondenzátor bez ochranné tlumivky. Pro kmitočty vyšší již představuje zadrž. Použití kompenzačních sekcí s předřazenou ochrannou tlumivkou je vhodné v průmyslových sítích napájející spotřebiče jednak klasické, jednak generující harmonické proudy. Velikost generovaných harmonických je zde na takové úrovni, že je není s ohledem na ostatní zařízení nutno eliminovat, ale pouze z důvodu spolehlivého provozu kompenzačních kondenzátorů tyto chránit před proudovým přetěžováním. Vhodně zvoleným zahrazením kompenzačních kondenzátorů se snižuje nebezpečí vzniku rezonančních jevů spojených s odsáváním užitečného signálu HDO. [7]

2.6.2.4 Kompenzační filtry

Pro potřeby filtrace harmonických proudů a současně pro kompenzaci účinníku se používají výkonové sériové LC filtry. Takovýto kompenzační filtr tvoří sériový rezonanční obvod RLC . Tlumivka L a kondenzátor C jsou čistě reaktivní části, zatímco ohmická, a tím i ztrátová složka představuje sériový odpor R . Impedance tohoto obvodu je dána vztahem: [7]

$$Z = R + j \cdot \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right) \quad (2.38)$$



Obr. 2.13 Kmitočtové charakteristiky L, C a LC filtru [7]

Typická kmitočtová charakteristika reaktance tlumivky $X_L = \omega \cdot L$, kondenzátoru $X_C = 1/(\omega \cdot C)$ a výsledného sériového LC obvodu $X_L + X_C$, kde průsečík s osou kmitočtu určuje rezonanční kmitočet filtru, jsou znázorněny na obr. 2.13. Z něj je zřejmé, že kompenzační filtr se chová pro kmitočty menší než ω_r jako kondenzátor (má kapacitní charakter), tedy pro 1. harmonickou kompenzuje jalový výkon. Pro harmonickou, na kterou je naladěn, představuje v ideálním případě zkrat a pro kmitočty větší než ω_r se chová kompenzační filtr jako tlumivka (má induktivní charakter). [7]

Pokud uvažujeme i odpor R , pak obvodem prochází proud závislý na kmitočtu. [7]

$$I = \frac{U}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega \cdot L}{R} - \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} \right)^2}} \quad (2.39)$$

Čistě ohmická složka proudu je [7]

$$I_R = \frac{U}{R} \quad (2.40)$$

Je zřejmé, že pokud je výraz pod odmocninou z předchozího vztahu roven číslu 1, pak obvod RLC odebírá pouze činný proud I_R . K tomu dochází právě v rezonanci, kdy $\omega = \omega_r$ a tedy [7]

$$\frac{\omega_r \cdot L}{R} = \frac{I}{\omega_r \cdot R \cdot C} = Q \quad (2.41)$$

Současně je takto definován činitel jakosti filtru. Po úpravě předchozích vztahů dostaneme závislost proudu filtru na kmitočtu a činiteli jakosti. Pokud ještě vztáhneme proud filtru k proudu při rezonanci, dostaneme následující vztah: [7]

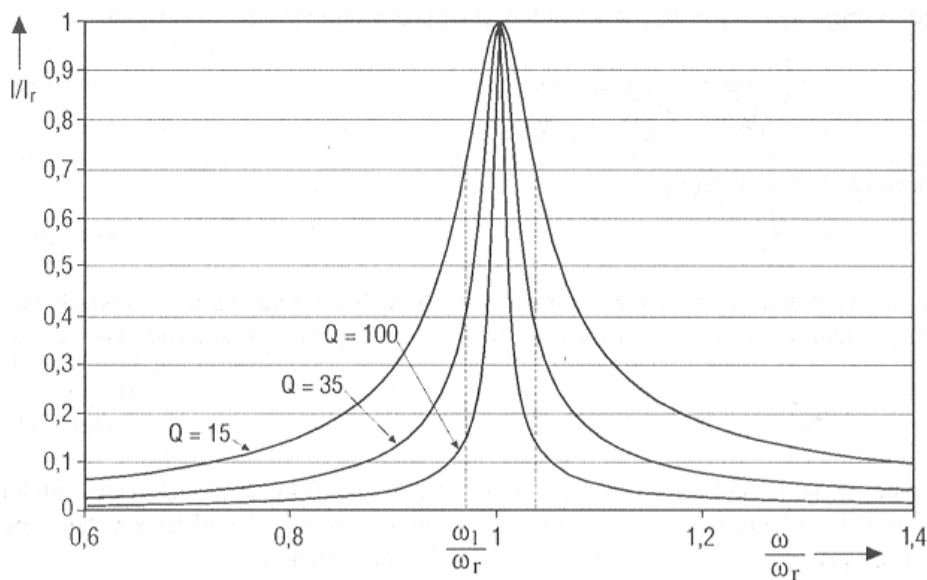
$$\frac{I}{I_R} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 \cdot Q^2}} \quad (2.42)$$

kde výraz

$$F = \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \quad (2.43)$$

je definován jako činitel rozladění. Kmitočtovou závislost LC filtru charakterizují kmitočty, při nichž poměr proudů klesne pod hodnotu $1/\sqrt{2}$. Tuto hodnotu splňují dvě hodnoty součinu $F \cdot Q = \pm 1$.

Na obr. č. 2.14 jsou vyneseny poměrné proudy RLC filtru I/I_R v závislosti na kmitočtu a pro různé činitele jakosti. [7]



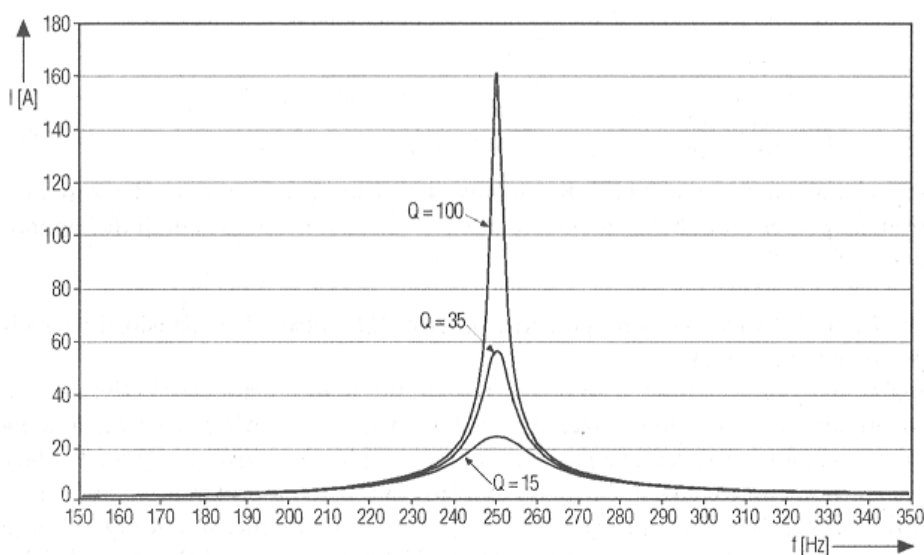
Obr. 2.14 Kmitočtová charakteristika proudového poměru filtru pro různý činitel jakosti [7]

Z obrázku vyplývá, že čím je větší činitel jakosti, tím je užší rezonanční křivka filtru. Nutno podotknout, že kmitočtové zúžení se vztahuje pouze na poměr proudů I/I_R a ne na samostatnou hodnotu I . To proto, že proud I_R závisí na hodnotě sériového odporu R , který se mění změnou činitele jakosti Q . Není tomu tedy tak, že např. při kmitočtu ω_1 (obr. 2.14) prochází filtrem největší proud pro $Q = 15$, pro $Q = 35$ je proud menší a pro $Q = 100$ je nejmenší. Proud I je ve všech případech stejný. V tomto často uváděném grafickém vyjádření rezonanční křivky může pouze letmý pohled přivést k chybným závěrům. [7]

Názornější rezonanční křivky ukazuje závislost proudu filtru na kmitočtu. Použitím předchozích vztahů a převedením ω na $f = \omega/(2 \cdot \pi)$ dostaneme výraz pro proud filtru: [7]

$$I = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot U \cdot Q \cdot C}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f} \right)^2 \cdot Q^2}} \quad (2.44)$$

Z průběhu na obr. 2.15 vyplývá, že snižování činitele jakosti cestou zvyšování sériového odporu R vede ke snižování amplitudy proudu v rezonanci a nezpůsobí kmitočtové rozšíření rezonanční křivky při stejné filtrační schopnosti. [7]



Obr. 2.15 Závislost proudu výkonového filtru na kmitočtu [7]

Snižování činitele jakosti filtru vede ke zvyšování činitele rozladění podle rovnice $F \cdot Q = \pm 1$.

Tento jev se nazývá ztlumení filtru a využívá se ke konstrukci širokopásmových výkonových filtrů, zejména pro spolehlivé filtrování spojitých kmitočtových spekter proudu např. od obloukových pecí. Činitel jakosti lze též ovlivnit připojením paralelního odporu buď k tlumivce, nebo ke kondenzátoru. [7]

Činitel jakosti lze také chápat obecněji z energetické definice, kde W_Q je energie nahromaděná v obvodu a W_P je energie přeměněná v teplo během jedné periody. Činitel jakosti je pak úměrný $Q = W_Q / W_P$. [7]

Z této definice je možno dokázat, že pro činnost filtru v rezonanci je lhostejné, připojíme-li stejný paralelní odpor k tlumivce nebo ke kondenzátoru. Pro praktické použití je nutno dát přednost paralelnímu připojení k tlumivce. Důvodem je menší napěťové namáhání rezistoru, protože pro základní kmitočet platí, že napětí na tlumivce je v ustáleném stavu mnohem menší. Naopak odpor, připojený paralelně ke kondenzátoru, vykazuje mnohem větší ztráty pro základní harmonickou proud. [7]

Tyto shora uvedené vlastnosti je nutno respektovat při návrhu kompenzačních filtrů. Harmonický proud, který zatěžuje filtr při rezonanci, je přímo úměrný velikosti činitele jakosti, proto není vždy cílem použít vysokojakostní filtr. Jakost filtru je ve skutečnosti dána vlastnostmi tlumivky, resp. velikostí jejího odporu. [7]

Při návrhu kompenzačních filtrů je nutno počítat s proudovým namáháním nejenom od 1. harmonické, na které se filtr chová jako kompenzátor, ale i s proudem harmonické, na kterou je filtr naladěn. Kompenzační filtry jsou připojovány do sítí, v nichž je nutné účelně eliminovat harmonické proudy generované spotřebiči, jejichž výkon je v porovnání s ostatními spotřebiči dominantní. [7]

V praxi je takové zařízení řešeno jako několik paralelních filtrů naladěných na jednotlivé harmonické. [7]

2.7 Způsoby řízení kompenzačního výkonu

2.7.1 Stupňovitě řízené kompenzátory

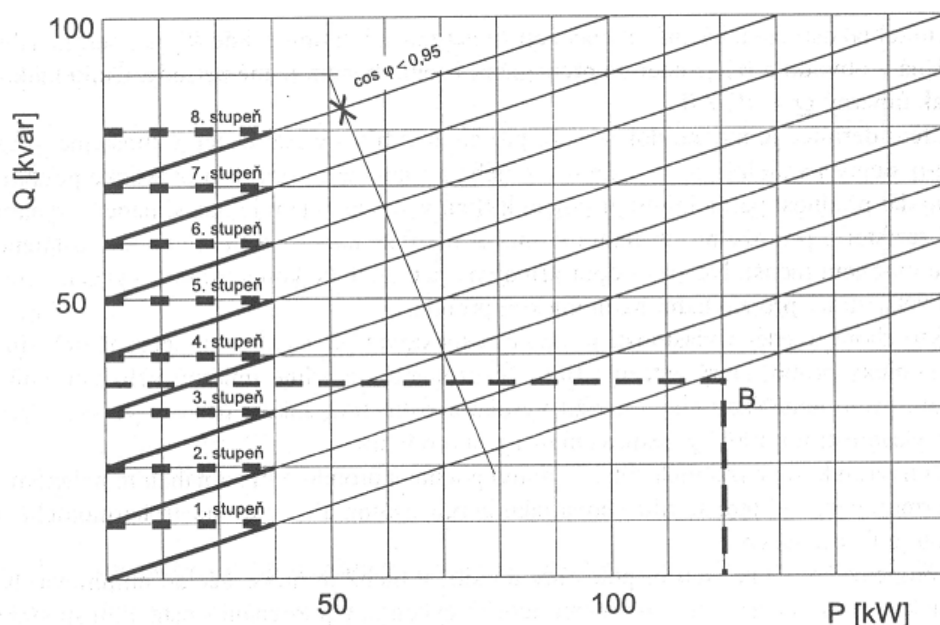
U stupňovitého řízení výkonů je důležitou otázkou volby počtu a velikosti stupňů. Tato otázka platí jak pro kompenzátory kontaktní, tak pro bezkontaktní na hladinách nízkého i vysokého napětí. Volba počtu stupňů závisí na reálné velikosti jednoho stupně, celkovém potřebném kompenzačním výkonu a na žádané hodnotě vykompenzování, obvykle $\cos \varphi_0 \geq 0,95$, neboli $\tan \varphi_0 \leq 0,33$. Pak musí být, v ideálním případě a pro stupně se stejným kompenzačním výkonem, splněn vztah: [7]

$$\frac{Q_L - N \cdot Q_{Cl}}{P} \leq \tan \varphi_0 \quad (2.45)$$

kde N je počet stupňů

Z předchozí nerovnosti je možno určit vztah pro počet stupňů kompenzátoru N :

$$N \geq \frac{Q_L - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}{Q_{Cl}} \quad (2.46)$$



Obr. 2.16 Závislost jalového výkonu na činném výkonu při osmistupňové regulaci [7]

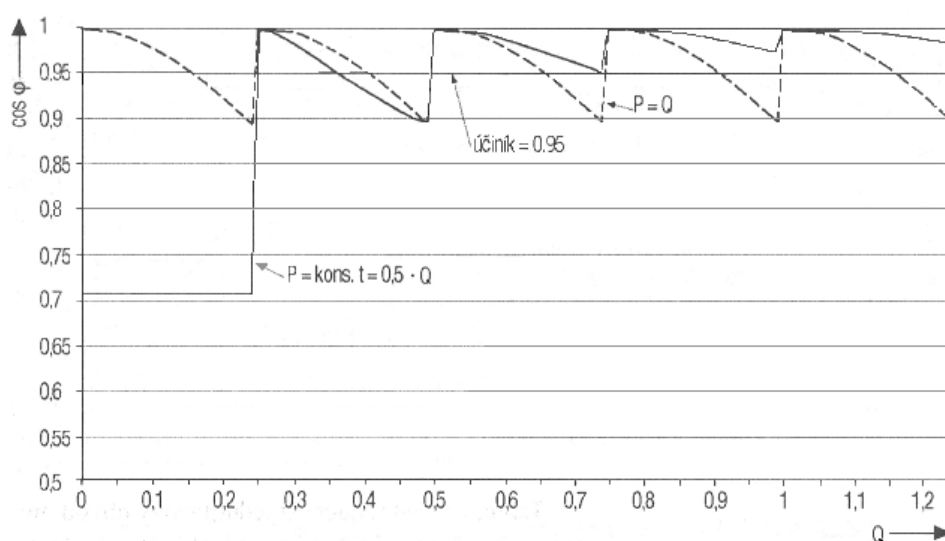
Na obr. 2.16 je znázorněna funkce $Q = f(P)$ při osmistupňové kompenzaci jalového výkonu. Jeden stupeň je pro jednoduchost zvolen 10 kvar. Rovnoběžky, které jsou úměrné $\cos \varphi = 0,95$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,33$, kde $\operatorname{tg} \varphi = Q/P$), vymezují pro každý připnutý kompenzační stupeň oblast vykompenzování. Oblast vykompenzování se nachází vždy pod příslušnou rovnoběžnou pro počet připnutých stupňů. Z obr. 2.16 a z principu stupňovité kompenzace vyplývá, že není možné vykompenzovat velikost jalového výkonu, jehož hodnota odpovídá výkonu jednoho kompenzačního stupně. Tato hodnota je právě míra nevykompenzování, což může na první pohled vyvolat dojem špatné kompenzace. Vzhledem k tomu, že účinník závisí i na odebíraném činném výkonu, je např. míra nevykompenzování 35 kvar plně vyhovující. [7]

Následující úvaha ještě názorněji vysvětlí vlastnosti stupňovité kompenzace. Necht' Q_{Cl} je velikost jednoho kompenzačního stupně. Pak je možné určit rovnici pro změnu $\cos \varphi$ v závislosti na odebíraném činném výkonu P , jalovém výkonu Q a počtu připínaných stupňů N . Platí:

$$\cos \varphi = \cos \operatorname{arctg} \left(\frac{Q_L - Q_{Cl} \cdot N}{P} \right) \quad (2.47)$$

Grafické vyjádření této rovnice je znázorněno na obr. 2.17. Jalový výkon Q je vyneseno v poměrných hodnotách, kde $P_{\text{MAX}} = Q_{\text{MAX}} = 1$. Velikost jednoho kompenzačního stupně byla zvolena $Q_{\text{CI}} = 0,25 \cdot Q_{\text{MAX}}$. V grafu jsou vyneseny závislosti $\cos \varphi = f(Q)$ pro $P=Q$ a pro $P = \text{konst.} = 0,5 \cdot Q$.

Je zřejmé, že míra nevykompenzování klesá při nárůstu připojených stupňů. Z této skutečnosti vyplývají podmínky pro stanovení velikosti kompenzačního stupně a podmínky pro vlastnosti regulátoru jalového výkonu. Z grafického vyjádření tedy vyplývá, že míra nevykompenzování je nepřímo úměrná změně velikosti odebíraného činného výkonu a přímo úměrná počtu připojených stupňů. [7]



Obr. 2.17 Závislost změny $\cos \varphi$ na odebíraném výkonu P, Q a počtu připojených stupňů [7]

Velikost kompenzačního stupně (v poměrných jednotkách) je pak možno určit z minimálního průměrného odebíraného činného výkonu.

$$P_{\text{MIN}} = \tan \varphi = Q_{\text{CI}}, \quad (2.48)$$

kde $\tan \varphi = 0,33$.

Celkový počet stupňů určíme z rovnice 2.46. [7]

V praktických aplikacích, stupňovitě řízených kompenzátorů, nemusí být jednotlivé připojené stupně stejně velké. Výše uvedené úvahy a odvození platí pro určení nejmenšího spínaného stupně, přičemž další stupně jsou voleny jako jeho násobky. [7]

2.7.2 Regulované kontaktní kompenzátory

Regulované kontaktní kompenzátory pracují na principu přímého připínání kondenzátorů nebo chráněných kompenzačních sekcí, popř. jejich skupin, na kompenzovanou síť podle povelů regulátoru jalového výkonu. [7]

Kontaktní kompenzátory s prostými výkonovými kondenzátory se běžně používají v sítích, kde se nevyskytují harmonické složky proudu a kde nejsou kladeny vysoké nároky na rychlost kompenzace.

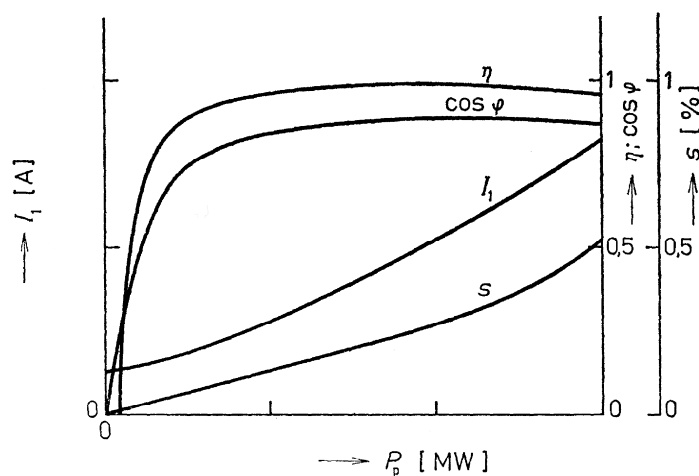
Při použití klasických stykačů je jejich velkým nedostatkem možnost vzniku přechodových jevů při nedefinovaném kontaktním připnutí kondenzátoru na síť. Velké proudové rázy mohou dosahovat až třicetinásobku hodnot jmenovitých proudů. [7]

Další velkou nevýhodou kontaktních kompenzátorů způsobenou nesynchronním spínáním je vznik rušivých jevů při sepnutí jako zpětný vliv na napájecí síť. Často způsobují impulzní rušení citlivých elektronických zařízení, měřicí a regulační techniky, elektronických vah, výpočetní techniky, atd.. Tyto nevýhody jsou částečně eliminovány předřazením ochranných tlumivek a zejména použitím moderních spínacích prvků. [7]

2.8 Charakteristika kompenzovaných spotřebičů a sítí

2.8.1 Asynchronní elektromotory

Asynchronní elektromotory jsou nejrozšířenějším spotřebičem elektrické energie, neboť především v průmyslových sítích představuje až 70% instalovaného výkonu a v povrchových dolech dokonce více jak 90% instalovaného výkonu. [13]



Obr. 2.18 Závislost změny $\cos \varphi$ na odebíraném výkonu P [5]

Asynchronní motory jsou nejvýznamnějším spotřebičem jalové energie induktivního výkonu, kterou potřebuje k vytvoření magnetického pole statoru a pokrytí rozptylového magnetického toku. Účinník na štítku motoru se vztahuje k jmenovitému zatížení motoru. Se změnou zatížení motoru se mění také účinník motoru jak je vidět na obr. 2.18. Do jedné třetiny zátěže motoru je účinník velmi nízký a teprve při vyšší zátěži se přibližuje hodnotě uvedené na štítku. Kroužkové a pomaloběžné motory mají horší účinník než motory s rotorem nakrátko, nebo rychloběžným motorům. Při chodu naprázdno tvoří jalová složka až 70% příkonu motoru. Odebíraný jalový výkon Q je složen z jalového výkonu naprázdno Q_0 a z proměnné složky jalového výkonu Q_z , který se zvětšuje se čtvercem poměrného zatížení motoru: [13]

$$Q = Q_0 + Q_z \cdot \frac{P}{P_n} \quad (2.49)$$

Pro jednoduché přiřazení kompenzačního kondenzátoru individuální kompenzace asynchronního elektromotoru je celá řada pomůcek od jednoduchých tabulek až po komplikovanější nomogramy.

Factor K (kvar/kW)												
initial cosφ	final cosφ											
	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342

Tab. 2.1 Koeficient kompenzace k [1]

Individuální kompenzace u elektromotorů má ekonomické i technické opodstatnění u výkonu elektromotorů řádově desítek nebo několika desítek až stovek kilowatt. Je vhodné vycházet ze štitkových údajů a určit potřebný kompenzační výkon např. ze vztahu: [7]

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot C = P \cdot (tg \varphi - tg \varphi_k) \quad (2.50)$$

Nejčastěji se kompenzuje účinník na hodnotu $\cos \varphi = 0,95$ a pro rychlou orientaci ve velikosti výkonu se používá zjednodušený vztah [7]

$$Q_c = P \cdot k \quad (2.51)$$

Zjednodušeně lze říci, že potřebný kompenzační výkon individuálně připojeného kompenzačního kondenzátoru by měl být cca jedna třetina hodnoty jmenovitého činného výkonu asynchronního elektromotoru. [7]

U elektromotorů s vysokým jmenovitým výkonem je při návrhu individuální kompenzace nutno brát zřetel i na charakter poháněného zařízení, zejména co se týče rychlostí rozběhu a doběhu závislých na připojených setrvačných hmotách. Významnou roli hraje také způsob spouštění elektromotoru (přímé připojení na síť, přepínač hvězda trojúhelník, rotorový spouštěč odporový nebo indukční, softstartér). [7]

Od výkonu cca 40 kvar je vhodné kompenzační kondenzátory připojovat na svorky elektromotoru samostatným spínacím prvkem, nejlépe vhodně dimenzovaným stykačem se správně voleným zpožděním při spouštění a okamžitým odpojením kondenzátoru při vypnutí elektromotoru. Tím lze zabránit vzniku přechodových jevů, nebezpečných rezonancí a vzniku zpětného napětí při doběhu elektromotoru. [7]

2.8.2 Transformátory

Dalším významným prvkem rozvodné sítě jsou transformátory. Transformátory jsou elektrické stroje, induktivního charakteru, sloužící k napájení sítí odběratelů.

Odebíraný jalový výkon Q je tvořen z jalového výkonu při chodu transformátoru naprázdno Q_0 , který je asi 1 - 3,5% jmenovitého výkonu transformátoru a z proměnného jalového výkonu, pro pokrytí rozptylového magnetického toku, který se zvětšuje se čtvercem zatížení transformátoru, tj.:

$$Q = Q_0 + u_k \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \cdot S_n \quad (2.52)$$

kde $S_n (I_n)$ je jmenovitý výkon (proud) transformátoru. [13]

Hodnota účinníku při chodu transformátoru naprázdno je velmi nízká, $\cos \varphi_0 = 0,1 - 0,2$, tj. čistě jalové zatížení. Proto je vyžadována kompenzace jalového proudu naprázdno transformátorů středo- a velkoodběratelů s měřením jalové energie na sekundární straně transformátoru.

Při průměrném zatížení 70% se celkový jalový výkon transformátoru pohybuje 4-6% jmenovitého výkonu transformátoru. [13]

Power of the transformer [kVA]	Power of the transformer [kW]					
	$\cos \varphi$					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1000	500	600	700	800	900	1000
1250	625	750	875	1000	1125	1250

Tab. 2.2 Vliv účinníku na přenos činného výkonu P [1]

U transformátorů se kompenzuje induktivní jalový výkon naprázdno. Připojení kondenzátoru přímo na sekundární svorky silového transformátoru v sobě skrývá několik nebezpečí. Především je nutné kompenzační kondenzátor správně jistit, což je vzhledem k vysokému zkratovému výkonu v místě připojení možné pouze výkonovými pojistkami. Dalším nebezpečím je vznik rezonancí a trvalé proudové přetížení kondenzátoru harmonickými. Tomu lze předejít pokud kompenzačnímu kondenzátoru předřadíme správně navrženou ochrannou tlumivku. [7]

2.8.3 Výkonové polovodičové měniče

Jedná se o řízené a neřízené usměrňovače, měniče frekvence se stejnosměrným meziobvodem (napětovým nebo proudovým), přímé měniče frekvence, fázově řízené střídavé spínače apod.. Různé typy měničů se z hlediska odběru jalového výkonu liší, např. řízený polovodičový usměrňovač pro řízení stejnosměrných motorů pracuje s účinníkem $\cos \varphi = 0,5$ i horším, avšak střídač s neřízeným usměrňovačem na vstupu a stejnosměrným napětovým meziobvodem, s šířkovou pulzní regulací napětí pro řízení otáček asynchronního motoru, může pracovat s účinníkem $\cos \varphi = 0,95$ apod.. Pro řízený polovodičový usměrňovač pro regulaci stejnosměrných motorů platí, že účinník se zhoršuje s

hloubkou regulace otáček a nepřímo s velikostí stejnosměrného napětí naprázdno U_{d0} při úhlu řízení tyristorů $\alpha = 0$. [13]

U kompenzace měničů frekvence je nutná kompenzace harmonických za pomoci filtrů, odpovídajících příslušným harmonickým frekvencím.

2.8.4 Osvětlovací soustavy

Jedná se zejména o výbojková a zářivková svítidla, která potřebují pro svou funkci vyšší napětí na elektrodách pro vyvolání výboje v plynu. Toto napětí je zajišťováno buďto indukčním předřadníkem (tlumivka se železným jádrem), nebo elektronickým. Účinník takového svítidla je velice nízký. U většiny svítidel je účinník $\cos \varphi = 0,37 - 0,5$. Z tohoto důvodu jsou svítidla vybavena od výrobce kompenzačním kondenzátorem, zajišťujícím účinník $\cos \varphi = 0,95$. [7]

2.8.5 Venkovní a kabelová vedení

Vedení spotřebují poměrně málo jalové energie, a to vlivem své indukčnosti a kapacity. U venkovních vedení (pod 200km) převládá indukční složka a kapacitní je zanedbatelná. U kabelových vedení převládá naopak vliv kapacity (kapacita roste tím více, čím větší je průřez žil). Tato vlastnost kabelových sítí může vést, při nesprávně provozovaných kompenzačních zařízeních (tj. trvale překompenzovaných), k nebezpečnému nárůstu kapacitního výkonu především v sítích vn. [13]

Vzhledem k rozsahu kabelových vedení v povrchovém uhlém lomu a napěťovým hladinám, pro které se tyto kabely používají, je kapacitní vliv těchto kabelů na napájecí distribuční síť velmi významný. Kapacitní jalový výkon je proto nutné dekompenzovat.

2.8.5.1 Ztráty ve vedení

Navýšení ztrát ve vedení můžeme vysvětlit z výrazu pro ztrátový výkon: [6]

$$P_z = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot 3 \cdot U^2 \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot S^2 = \frac{R}{U^2} \cdot (P^2 + Q^2) \quad (\text{W}) \quad (2.53)$$

Uvažujeme-li činnou i jalovou složku proudu, pak: [6]

$$I^2 = I_c^2 + I_j^2 = I^2 \cdot \cos^2 \varphi + I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (2.54)$$

Ztráty způsobené proudem pak budou: [6]

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi + 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (2.55)$$

Poměr ztrát, způsobených jalovou a činnou složkou proudu, můžeme vyjádřit vztahem: [6]

$$\frac{\Delta P_Q}{\Delta P_P} = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi}{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \operatorname{tg}^2 \varphi \quad (2.56)$$

Z rovnice 3.56 je možné vypočítat, že například při $\cos \varphi = 0,7$ jsou ztráty způsobené jalovou složkou proudu stejné jako ztráty způsobené činnou složkou. Při $\cos \varphi = 0,5$ jsou ztráty způsobené jalovou složkou už třikrát větší, při $\cos \varphi = 0,3$ dokonce desetkrát větší, než ztráty způsobené činnou složkou proudu. Bude-li však účinník $\cos \varphi = 0,95$ nebo i větší, budou ztráty způsobené jalovou složkou proudu přibližně desetkrát menší než ztráty způsobené činnou složkou. [6]

2.9 Komponenty kompenzačních zařízení

2.9.1 Regulátory jalového výkonu

Jsou důležitou částí kompenzačního zařízení. Každý typ kompenzace potřebuje jiný typ regulátoru lišící se od sebe rychlostí reakce, vstupy a výstupy, způsobem určování kompenzačního výkonu, atd. [7]



Obr. 2.19 Regulátor jalového výkonu

Regulátory pracují tak, že vyhodnocují průchody napětí nulou a v tomto okamžiku měří velikost proudu. Za předpokladu nezkresleného (sinusového) průběhu obou veličin je hodnota proudu hodnotou jalového proudu. Je tedy rovna $I \cdot \sin \varphi$, který je úměrný jalovému výkonu Q . Tento způsob

měření má několik nevýhod. Mezi nejvýznamnější patří vysoká citlivost na deformace průběhu napětí a především proudu. Regulátor potom měří nepřesně a regulační povely jsou zmatené. [7]

S rozvojem a zlevňováním mikroprocesorové techniky jsou dnes dostupné druhy regulátorů, které se zbavily výše zmíněných nedostatků. Tyto regulátory měří skutečné hodnoty napětí, proudů a výkonů, dokáží využívat regulačních algoritmů, které chrání kompenzovaný uzel sítě před okamžitým překompenzováním. dále dokáží provádět harmonickou analýzu proudu tekoucího do kompenzátoru a kompenzátor tak ochránit před přetížením proudu harmonických (např. 5., 7., 11. a 13.). [7]

U nových regulátorů je realizován praktický poznatek, že váhové spínání kompenzačních stupňů (např. 1:2:4: ... atd.) přináší jen provozní komplikace a teoreticky jemné odstupňování je prakticky nevyužitelné. Proto většinou postačí 6 až 12 stupňů spínaných co nejhospodárněji s minimálním počtem operací. Jedná se o tzv. kruhové spínání, což znamená, že se vždy vypíná stupeň nejdéle zapnutý a naopak zapíná se stupeň nejdéle vypnutý. Tímto jednoduchým výběrem se dosáhne rovnoměrného zatížení všech kompenzačních prvků spínačů. [7]

2.9.2 Jistící prvky

Jištění kondenzátorů a kondenzátorových baterií se provádí podle ČSN 33 3080 – „Kompenzace indukčního výkonu statickými kondenzátory“. Nejvhodnějším jistícím prvkem jsou pojistky s patřičnou vypínací schopností a zkratovou odolností. Pro jištění jsou, vzhledem k přechodným jevům, při zapínání vhodné pojistky s pomalými charakteristikami, dimenzované na cca 1,3 až 1,5 násobek jmenovitého proudu jištěné kondenzátorové baterie. Doporučuje se jistit každou spínanou kompenzační sekci samostatně. [7]

2.9.3 Přístrojové transformátory

Přístrojové transformátory jsou elektrické stroje, jejichž úkolem je transformovat proudy nebo napětí na hodnoty vhodné pro napájení proudových, nebo napěťových obvodů dalších připojených zařízení, zejména měřicích přístrojů, ochranných relé, regulátorů apod.. Ve snaze dosáhnout při transformaci minimální chyby, a to jak v absolutní hodnotě měřené veličiny, tak i ve fázovém úhlu mezi veličinami primárními a sekundárními, jsou přístrojové transformátory konstruovány jako jednoúčelové přístroje (přístrojové transformátory proudu a přístrojové transformátory napětí). [7]

Pro účely regulace kompenzačního výkonu jsou minimální chyby, zejména úhlu, velmi důležité. Pro kompenzační zařízení nízkého napětí se využívají pouze přístrojové transformátory proudu, neboť

běžně dodávané regulátory jalového výkonu jsou svým napěťovým obvodem připojitelné k napětím používaným průmyslových sítích. Vzhledem k tomu, že do sekundárních obvodů přístrojových transformátorů proudů, instalovaných v hlavních přívodech kompenzovaných rozvaděčů, jsou často připojeny i panelové měřicí přístroje, proudové cívky elektroměrů, příp. převodníků proudu, doporučuje se pro potřeby regulátoru jalového výkonu instalovat další přístrojový transformátor. Ve většině případů postačuje měření proudu v jedné fázi a při zapojení regulátoru je nutné pouze dbát na přiřazení správného napětí (obvykle je proudu ve fázi L1 přiřazeno napětí mezi fázemi L1 a L2 nebo napětí mezi fází L1 a zemí). Pouze v případech, kdy je zapotřebí instalovat technicky náročnější kompenzační zařízení, regulující kompenzační výkon v každé fázi nezávisle na ostatních, je nutno instalovat přístrojové transformátory proudu pro potřeby regulace jalového výkonu do každé fáze.



Obr. 2.20 Přepětové ochrany a přístrojové transformátory v přívodním poli kompenzačního rozvaděče

V praxi se občas vyskytne případ, kdy je nutné kompenzovat jalový výkon s možností současného ale i postupné napájení z více zdrojů. Problém správné regulace kompenzačního výkonu se řeší v tomto případě použitím tzv. součtového transformátoru proudu jehož dvě nebo i více primárních vinutí je zapojeno do sekundárů přístrojových transformátorů instalovaných v přívodech od jednotlivých zdrojů. V tomto případě je nutno věnovat velkou pozornost správnému zapojení začátků a konců jednotlivých vinutí. [7]

2.9.4 Spínací prvky

Nejrozšířenějšími spínacími prvky v kompenzačních zařízeních se stupňovitě regulovaným kompenzačním výkonem jsou stykače. Stykače pro spínání kompenzačních kondenzátorů nízkého napětí mají upravené kontakty a jsou doplněny o zařízení umožňující omezení proudových přechodových jevů. [7]

Zatímco přechodový děj, při připojování prvního kondenzátoru k síti, je omezován relativně vysokou impedancí sítě, je připnutí dalšího, nenabitého kondenzátoru, ke kondenzátoru nabitému doprovázeno přechodovým dějem omezovaným pouze minimální impedancí silových přívodů k těmto kondenzátorům. Tento děj se odehrává právě ve stupňovitě řízených kompenzačních rozvaděcích. Amplituda přechodného děje mnohonásobně překračuje jmenovitý proud kondenzátoru při kmitočtech nad 10 kHz. To má za následek poškození kontaktů stykačů, protože při spínání dochází k mechanickému odskoku kontaktů doprovázenému elektrickým obloukem, který způsobuje díky své vysoké energii opalování kontaktů, případně svaření kontaktů. [7]

Dalším negativem přechodného jevu je impulzní rušení, které se díky vysokým amplitudám a kmitočtům šíří v napájecí síti. [7]

Z toho je patrné, že omezení amplitudy a kmitočtu přechodového jevu, při spínání kapacit, je možné zvýšením impedance elektrického obvodu mezi připojovaným a již připojeným kondenzátorem. Pro trvalé zvýšení impedance přichází v úvahu tlumivky a to jak vzduchové, tak i se železným jádrem. [7]

Pro kompenzační zařízení na vn se používají vakuové stykače, případně výkonové vypínače. Přepětí vznikající při vypínání se omezuje pomocí přepětíových ochran.

2.9.5 Kondenzátory

Konstrukční uspořádání svitků je, u moderních třífázových kondenzátorů určených pro hladiny nízkého napětí, v zásadě dvojí. V prvním případě se jedná o tři shodné svitky umístěné ve válcové hliníkové nádobě kondenzátoru nad sebou. Ve druhém případě tvoří kondenzátor tři sousední svitky navinuté jeden na druhém. Obě konstrukce bez ohledu na typ impregnantu používají jako elektrody pokovenou polypropylénovou fólii a dielektrikum je tvořeno polypropylénovou fólií. Vývody ze svitků jsou provedeny naletováním k šopovaným čelům svitků. [7]

Kondenzátorové jednotky výše popsané technologie jsou tzv. „samohojitelné“. To znamená, že při průrazu dielektrika, způsobeného například krátkodobým přepětím, dojde v několika mikrosekundách k odpaření elektrod v oblasti průrazu a k opětovnému obnovení jeho izolační pevnosti. Při přetížení kondenzátoru se tento samočinně odpojí od napájecího napětí působením přetlakové pojistky. Při odpařování elektrod dochází k vývinu plynů a tedy i nárůstu tlaku v nádobě kondenzátoru, čímž dojde k deformaci víčka kondenzátoru a mechanickému přetržení přívodů ke svitkům. [7]

Kondenzátory jsou obvykle vybaveny vybíjecími odpory umístěnými na svorkách kondenzátoru. Kondenzátory do napětí 690 V jsou standardně dodávány ve spojení do trojúhelníka, pro napětí od 690 V do cca 925 V ve spojení do hvězdy. [7]

Pro kondenzátory jsou povolena tato přepětí oproti jmenovitému napětí kondenzátoru: [7]

- $U_{cn} + 10\%$ po dobu 8 hodin denně,
- $U_{cn} + 15\%$ po dobu 15 minut,
- $U_{cn} + 20\%$ po dobu 5 minut,
- $U_{cn} + 30\%$ po dobu 1 minuty.

Stejně tak je garantován bezporuchový provoz při proudovém přetížení $1,3 \times I_{cn}$.

Vysokonapěťové kondenzátory jsou dodávány v hranatých ocelových (příp. nerezových) nádobách v jednofázovém nebo třífázovém provedení. V blízkosti kondenzátoru musí být umístěny vybíjecí odpory (nejsou součástí kondenzátoru). Kondenzátory jsou plněny impregnačním olejem.

2.9.6 Tlumivky

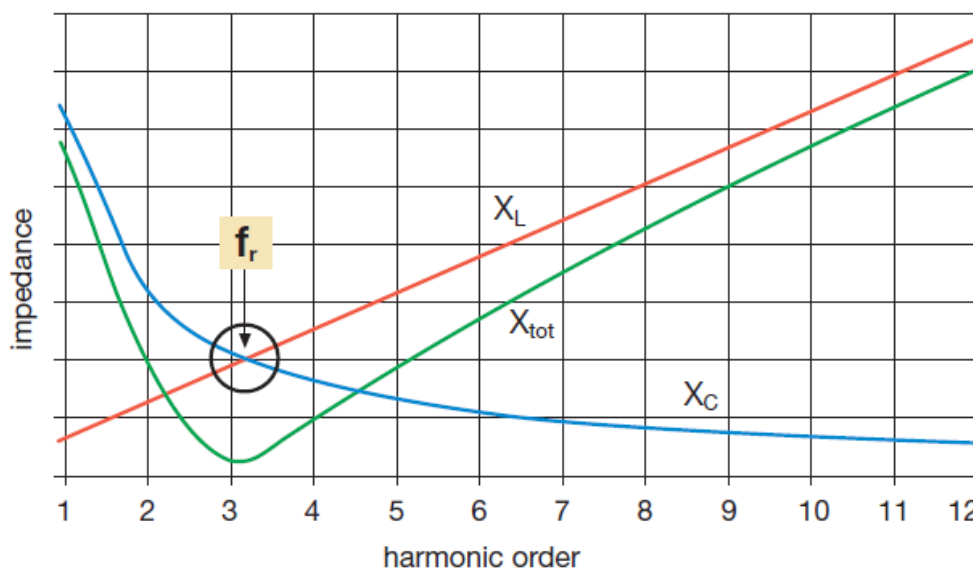
Tlumivky používané ve filtračně kompenzačních zařízeních dělíme na tlumivky ochranné, filtrační a dekompenzační.

2.9.6.1 Ochranné tlumivky

Pro stupňovité kondenzátorové kompenzátory mají velký význam. Výrazně omezují zapínací proudový ráz a tím prodlužují životnost spínacích prvků, přístrojů i kondenzátorů. Zabraňují nepříznivým a nebezpečným jevům v napájecí síti. Sítě s takto vybavenými kompenzátory výrazně zvyšují elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). [7]

Tyto ochranné tlumivky se vyskytují ve dvojím provedení: [7]

- vzduchové cívky – provedené stočením zapojovacích vodičů na průměru 80 až 100 mm asi o deseti závitů. Dle provedení dosahují indukčnosti 10 až 20 μH .
- tlumivky s feromagnetickým jádrem - dosahují indukčnosti v řádu mH. Společně s kondenzátorem vytváří rezonanční obvod na kmitočtu některé harmonické (filtr příslušné harmonické).



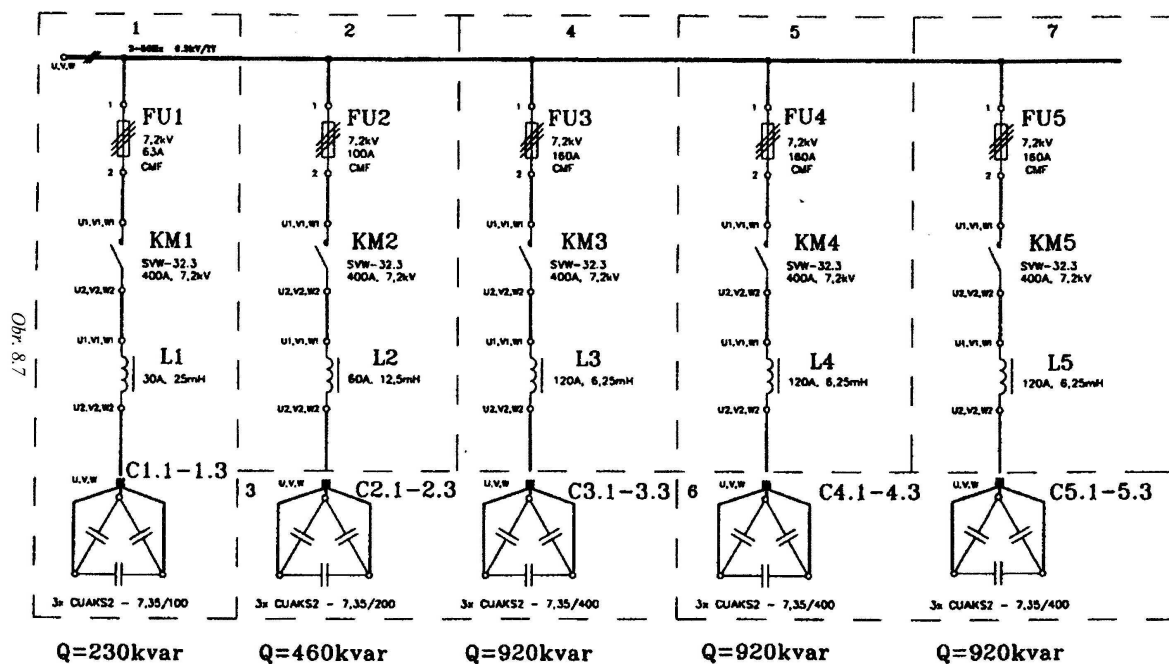
Obr. 2.21 Průběh impedance filtračního kompenzačního článku [1]

Kompenzační kondenzátory, bez omezovací tlumivky, mohou rezonovat s indukčností sítě na kmitočtu stejném, nebo blízkém některé harmonické. Rezananční jevy mohou výrazně deformovat křivku napětí v přípojném bodě a způsobovat přetížení kondenzátorů napětím i proudem. Ochranné

tlumivky tvoří společně s kondenzátorem sériový rezonanční obvod naladěný na kmitočet, který leží mezi 100 a 150 Hz nebo 150 a 250 Hz. Kmitočet je volen záměrně tak, aby nemohlo dojít k rezonanci na některé charakteristické harmonické a tím k přetížení kondenzátoru. [7]

2.9.6.2 Filtrační tlumivky

Pokud je sériový RLC kompenzační členek v rezonanci, pak je harmonický proud omezen pouze činným odporem tlumivky a impedancí předřazené sítě. Vzhledem k tomu, že lze těžko předpokládat, jak velký harmonický proud bude filtr z obvodu odsávat, je použití jakéhokoliv filtru problematické. Při dimenzování tlumivky, ale i kondenzátoru, musíme vycházet z nejhorsích předpokladů výskytu harmonických proudů. Při návrhu tlumivky není vždy vhodné volit co největší jakost rezonančního obvodu, přestože filtrační schopnost je úměrná jakosti filtru. Filtrační tlumivky ve srovnání s ochrannými tlumivkami bývají na pohled značně předimenzované a cenově dražší. [7]



Obr. 2.22 Filtračně kompenzační rozvaděč [6]

2.9.6.3 Dekompenzační tlumivky

Tam, kde je nadbytek kapacitního výkonu, např. u dlouhých napájecích kabelových tras v rozsáhlých průmyslových sítích je nutno provádět opak kompenzace – dekompenzaci. [7]

Dekompenzační tlumivka se navrhuje pro jmenovité napětí s reaktancí, jejíž reaktivní výkon odpovídá právě potřebnému dekompenzačnímu výkonu. [7]

3 Popis provozního zapojení důlní sítě (DNT)

3.1 Rozvodná síť

3.1.1 Napojení DNT na veřejnou distribuční síť

Severočeské doly - lokalita DNT, je v současné době napájena prostřednictvím čtyř nezávislých venkovních linek 110 kV (V937 - V940) z rozvodny SČE Vernéřov a to prostřednictvím transformátorové stanice TR2 v Tušimicích (linka V937 a V938) a transformátorové stanice TR3 v Málkově (linka V939 a V940). V transformátorových stanicích TR2 a TR3 je napětí 110 kV TT transformováno na napětí 35 kV IT.

3.1.2 Páteřní rozvodná síť

Napájení dolu je doplněno venkovní rozvodnou TR4, umístěnou v Březně u Chomutova. Tato rozvodna je propojena dvěma venkovními linkami 35 kV IT s rozvodnou TR2 (linka V3 a V4) a dvěma venkovními linkami 35kV s rozvodnou TR3 (linka V309 a V310). Rozvodny TR2 a TR3 jsou propojeny jednou venkovní linkou (linka V1 - V301). Tyto linky tvoří páteřní napájecí soustavu dolu. Jsou umístěny na okraji těžebního prostoru (většinou vně tohoto prostoru). Venkovní linky jsou zhotoveny jako stabilní.

3.1.3 Distribuce elektrické energie do těžebního prostoru lomu

Z rozvodny TR2, TR3 a TR4 je rozvod dále proveden venkovními linkami 35kV do těžebního prostoru dolu. Těžební prostor se rozkládá na ploše cca 70 km². V tomto prostoru jsou rozmístěny distribuční transformátorové stanice napětí (dále jen TSN) a to podle aktuálních potřeb postupu těžby a zakládání výsypek. V lokalitě DNT je, pro pokrytí potřeb napájení těžební technologie, rozmístěno 23 ks TSN a DT stanic (stav ke konci roku 2011).

Venkovní linky 35 kV jsou umístěny na příhradových stožárech případně na přesuvných stožárech (v místech předpokládaného pohybu podloží např. výsypek). Délka venkovních vedení obvykle dosahuje několika desítek kilometrů (na DNT dosahuje délka venkovních vedení cca 140 km).

3.1.4 Distribuce elektrické energie k jednotlivým zařízením technologie

Na TSN je napětí transformováno z 35 kV IT na 6 kV IT a dále je rozvedeno kabelovými rozvody k jednotlivým zařízením těžební technologie. V případě, že součástí technologie je rypadlo výkonnostní třídy TC2, jsou některé TSN doplněny o spínací kiosek vypínače 35kV (tzv. VSS kiosky). Od VSS kiosku je napájecí trasa pro rypadlo vedena přesuvným kabelovým vedením 35 kV.

V posledních letech jsou starší typy TSN nahrazovány takzvanými DT stanicemi, ve kterých jsou soustředěny jak rozvody 6kV tak i 35 kV, včetně vývodového vypínače 35 kV pro rypadlo.

Kabelové rozvody se ve většině případů umísťují na dopravní linky dálkové pasové dopravy. Kabelové rozvody k těžebním strojům jsou většinou položeny volně na pláni a jsou navíjeny – odvíjeny na kabelové vozy, příp. kabelové zásobníky. Délka kabelových vedení obvykle dosahuje několika desítek až stovek kilometrů (na DNT dosahuje délka kabelových vedení cca 250 km).

3.2 Hlavní transformovny a hlavní spínací stanice

3.2.1 Transformovna TR2

Napětí z linek 110 kV TT (V937, V938) je transformováno, prostřednictvím dvou třívintuřových transformátorů (T101,T102) v paralelním zapojení, každý o výkonu 25 MVA (zapojení Yyd), na napětí 35 kV IT. Paralelně k těmto transformátorům je připojen třetí záložní transformátor (T103) stejných parametrů. Vývody těchto transformátorů jsou připojeny přes vypínače na přípojnice.



Obr. 3.1 Hlavní transformovna DNT - TR 2

Napětí 35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím třinácti venkovních linek na jednotlivé distribuční transformátorové stanice do prostoru těžební lokality DNT.

V1 – propojení TR2 a TR3, napájení hradel vlečky Tušimice – Pruněřov

V2 – napájení přednádraží vlečky Tušimice – Březno u Chomutova, TSN 60, 63 a VSS9

V3 – propojení TR2 a TR4, skládka odpadů

V4 - propojení TR2 a TR4

V5,V6 – napájení usměrňovací stanice pro železniční vlečky (3,3 kV DC)

V8,V9 – napájení lomu DT58,73, TSN72,47 a napájení ústřední drtírny uhlí V9- TR35

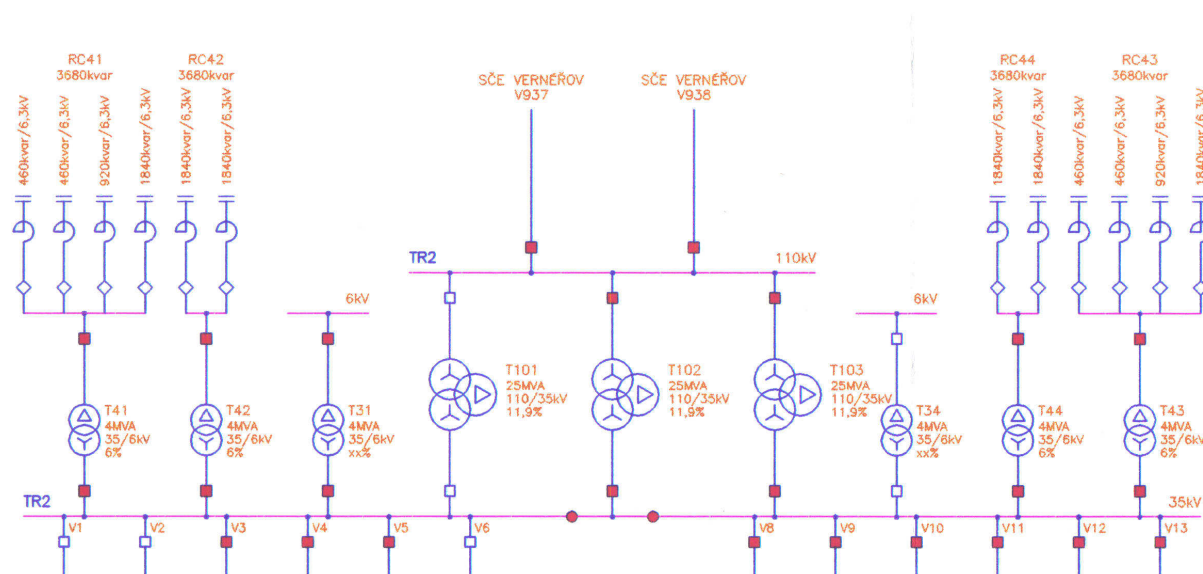
V10 – napájení ústřední drtírny uhlí TR35

V11, V12 – napájení lomu – DT50

V12,V13 – napájení lomu – DT44 a napájení homogenizační skládky DT35

Na přípojnicích 35 kV jsou dále připojeny dva transformátory (T31,T34) 35/6 kV, v zapojení Yd o výkonu 4 MVA, pro napájení vlastní spotřeby rozvodny.

Transformovna je vyhotovena ve venkovním provedení.



Obr. 3.2 Schéma zapojení TR2 [4]

3.2.1.1 Centrální kompenzace TR2

Na přípojnicích 35 kV je připojena centrální kompenzace účinníku a to prostřednictvím čtyř transformátorů 35/6 kV, v zapojení Yd, o výkonu 4 MVA a $u_k = 11,9\%$.

Centrální kompenzace je provedena jako chráněná na napěťové hladině 6 kV. Protože systém přípojníc TR2 je tvořen dvojicí přípojníc samostatně napájených hlavním transformátorem, je kompenzační výkon rozdělen takto:

system přípojníc 1 - T41	$0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84$	$= 3,68 \text{ Mvar}$
- T42	$1,84 + 1,84$	$= 3,68 \text{ Mvar}$
system přípojníc 2 - T43	$0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84$	$= 3,68 \text{ Mvar}$
- T44	$1,84 + 1,84$	$= 3,68 \text{ Mvar}$

Celkový kompenzační výkon je 14,72 Mvar.

Filtračně kompenzační zařízení jsou umístěna v rozvaděčích RC1a RC2, rozdělených vždy na dvě sekce RC 11 napojené na transformátor T41, RC12 napojené na transformátor T42 a RC 21 napojené na transformátor T43, RC22 napojené na transformátor T44. Přívod do rozvaděče je veden přes odpojovač, přívodní vypínač a je napojen na přípojnice vedené přes všechny rozvaděče skupiny. Přípojnice jsou chráněny svodiči přepětí. [2]

Kompenzační zařízení je tvořeno sadou paralelních kompenzačních filtrů, které jsou spínány vakuovými stykači. Kompenzační rozvaděč sestává z osmi spínaných stupňů s výkonovou vahou 1:1:2:4:8:8:8. [2]

Jednotlivé stupně jsou sestaveny ze:

- silových pojistek příslušné proudové hodnoty
- vakuového stykače
- třífázový RC člen s varistory (omezení spínacích přepětí)
- třífázové filtrační tlumivky
- trojice jednofázových kondenzátorů spojených do trojúhelníka

Stupně největšího výkonu mají zdvojené tlumivky a skupiny kondenzátorů. Kondenzátory jsou vybaveny pojistkami svitků, vybíjecími odpory a tlakovým pojistným systémem. [2]

Kompenzační zařízení je konstruováno tak, aby za běžného provozního stavu sítě kompenzovalo celkový účinník odběru, stanovený ze čtvrt hodinových odečtů elektroměrů, na hodnotu $\cos \varphi = 0,95 - 1$ induktivních. Kompenzační výkon zařízení je regulován podle účinníku součtu výkonů přívodních linek 110 kV, takže lze použít kteroukoli kombinaci přívodních transformátorů T101, T102, nebo T103.

Indukčnost filtrační tlumivky spolu s kapacitou kondenzátorů každého stupně tvoří sériový filtrační obvod, jehož rezonanční kmitočet je laděn na frekvenci 5. harmonické. Částečně jsou filtrovány i harmonické nad 5. harmonickou. [2]



Obr. 3.3 Část kompenzačních rozvaděčů centrální kompenzace TR2

Připínání a odpínání jednotlivých silových stupňů je prováděno na základě povelů regulátoru. Použit je mikroprocesorový regulátor jalového výkonu speciálně modifikovaný pro vysokonapětové kompenzace. Zpoždění manipulace je závislé na akutnosti požadavku a je při něm respektována potřebná vybíjecí doba kondenzátoru před znovuzapnutím příslušného stupně. Regulátor preferuje spínání do kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň nejdéle vypnutý a vypíná stupeň nejdéle zapnutý. [2]

Poruchové stavy a ovládání jsou přenášeny na velín odkud je možné funkci centrální kompenzace kontrolovat a ovládat.

3.2.1.2 Kompenzace nesymetrie TR2

Na přípojnicích 35 kV jsou dále připojen transformátor (T31) 35/0,4 kV, v zapojení Yyn o výkonu 0,1 MVA sloužící ke kompenzaci fázové nesymetrie sítě 35 kV.

Zařízení kompenzace napětové nesymetrie je složen z šesti kompenzačních stupňů v každé fázi. Regulace je ovládána autonomním automatem řízení. V průběhu nastavování je zakázáno ladění kompenzační tlumivky zemních proudů. [3]

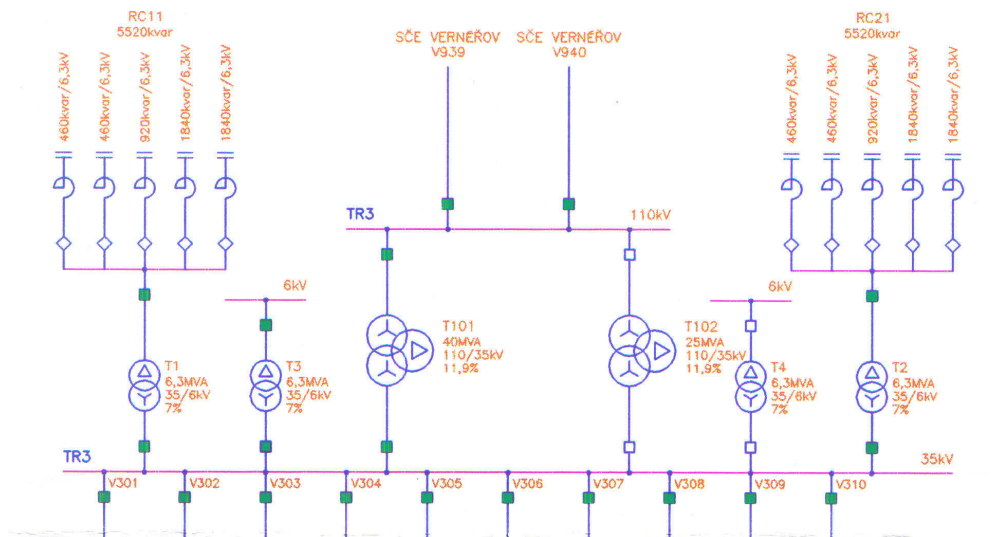
3.2.2 Transformovna TR3

Napětí z linek 110 kV TT (V939, V940) je transformováno, prostřednictvím třívinitového transformátoru (T101) o výkonu 40 MVA (zapojení Yyd), na napětí 35 kV IT. Paralelně k tomuto transformátoru je připojen druhý záložní transformátor (T102) o výkonu 25 MVA (zapojení Yyd). Vývody těchto transformátorů jsou připojeny přes vypínače na přípojnice.



Obr. 3.4 Hlavní transformovna TR3

Napětí 35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím třinácti venkovních linek na jednotlivé distribuční trafostanice do prostoru těžební lokality DNT.



Obr. 3.5 Schéma zapojení TR 3 [4]

V301 –propojení TR2 a TR3, napájení hradel vlečky Tušimice – Prunéřov, externí odběratelé

V302 – napájení 2 skřývkového řezu TSN62, napájení čerpání důlních vod TSN61

V303 - V306 – rezerva

V307 – napájení 1 skrývkového řezu VSS10, napájení 3 skrývkového řezu DT51, DT52, napájení čerpání důlních vod TSN53, zemník Krbice

V308 – napájení 2 skrývkového řezu VSS6

V309, V310 – spojovací vedení na TR4

Transformovna je vyhotovena ve venkovním provedení.



Obr. 3.6 Transformovna TR 3 - 110 kV část

3.2.2.1 Centrální kompenzace TR3

Na přípojnicích 35 kV je připojena centrální kompenzace účinníku a to prostřednictvím dvou transformátorů 35/6,3 kV, v zapojení Yy0, o výkonu 6,3 MVA a $u_k = 7\%$.

Centrální kompenzace je provedena jako chráněná, na napěťové hladině 6 kV. Kompenzační výkon je rozdělen takto:

$$\begin{array}{lll} - T1 & 0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84 + 1,84 & = 5,52 \text{ Mvar} \\ - T2 & 1,84 + 1,84 + 1,84 & = 5,52 \text{ Mvar} \end{array}$$

Celkový kompenzační výkon je 11,04 Mvar.

Filtračně kompenzační zařízení je umístěno v rozvaděči RC 3 rozdělenému na dvě sekce RC 31 napojené na transformátor T1 a RC 32 napojené na transformátor T2. Přívod do rozvaděče je veden

přes odpojovač, přívodní vypínač a je napojen na přípojnice vedené přes všechny rozvaděče skupiny. Přípojnice jsou chráněny svodiči přepětí. [2]

Kompenzační zařízení je tvořeno sadou paralelních kompenzačních filtrů, které jsou spínány vakuovými stykači. Kompenzační rozvaděč sestává z osmi spínaných stupňů s výkonovou vahou 1:1:2:4:8:8:8:8. Jednotlivé stupně jsou sestaveny ze: [2]

- silových pojistek příslušné proudové hodnoty
- vakuového stykače
- třífázový RC člen s varistory (omezení spínacích přepětí)
- třífázové filtrační tlumivky
- trojice jednofázových kondenzátorů spojených do trojúhelníka

Stupně největšího výkonu mají zdvojené tlumivky a skupiny kondenzátorů. Kondenzátory jsou vybaveny pojistkami svitků, vybíjecími odpory a tlakovým pojistným systémem. [2]

Kompenzační zařízení je konstruováno tak, aby za běžného provozního stavu sítě kompenzovalo celkový účinník odběru, stanovený ze čtvrt hodinových odečtů elektroměrů, na hodnotu $\cos \varphi = 0,95 - 1$ induktivních. Kompenzační výkon zařízení je regulován podle účinníku součtu výkonů přívodních linek 110 kV. [2]

Indukčnost filtrační tlumivky spolu s kapacitou kondenzátorů každého stupně tvoří sériový filtrační obvod, jehož rezonanční kmitočet je laděn na frekvenci 5. harmonické. Částečně jsou filtrovány i harmonické nad 5. harmonickou. [2]



Obr. 3.7 Kompenzační rozvaděče centrální kompenzace TR3

Připínání a odpínání jednotlivých silových stupňů je prováděno na základě povelů regulátoru. Použit je mikroprocesorový regulátor jalového výkonu speciálně modifikovaný pro vysokonapětové kompenzace. Zpoždění manipulace je závislé na akutnosti požadavku a je při něm respektována potřebná vybíjecí doba kondenzátoru před znovuzapnutím příslušného stupně. Regulátor preferuje spínání do kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň nejdéle vypnutý a vypíná stupeň nejdéle zapnutý. [2]

Poruchové stavy a ovládání jsou přenášeny na velín odkud je možné funkci centrální kompenzace kontrolovat a ovládat.



Obr. 3.9 Řízení centrální kompenzace na TR3

3.2.3 Rozvodna TR4

Rozvodna TR4 může být napájena z TR2 prostřednictvím linek V3, V4, nebo z TR3 prostřednictvím linek V309, V310.



Obr. 3.10 Rozvodna TR4

Napětí 35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím třinácti venkovních linek na jednotlivé distribuční trafostanice do prostoru těžební lokality DNT.

V401 – Čistírna důlních vod (ČDV), areál Březno (šatny, koupelny, dílny)

V402, V403 – rezerva

V404 – napájení 2 skrývkového řezu DT55, TSN59

V405, V406 – rezerva

V407 – napájení montážního místa TSN57

V408 – napájení lomu – DT71, napájení čerpání důlních vod

V409 – V412 – rezerva

V413 – napájení 1 skrývkového řezu DT74, TSN66, TSN 69

Rozvodna je vyhotovena ve venkovním provedení.

3.3 Distribuční trafostanice a spínací stanice

Na povrchovém lomu DNT se nachází 24 ks přesuvných distribučních stanic, 6 ks stálých distribučních stanic a 8 ks stožárových transformátorů. Některé z nich jsou vybaveny kompenzačním kioskem.

z rozvodny	úsek	označení distribuční stanice	výkon transformátoru	typ distribuční stanice	označení komp. kiosku	typ komp. kiosku	
TR 2	S 1-3	TSN 63	6,3 MVA	přesuvná			
		TSN 60	6,3 MVA	přesuvná			
	Lom	DT 58	6,3 MVA	přesuvná	KK-003	KK6-1400/3	
		DT 73	6,3 MVA	přesuvná	KK-004	KK6-1400/3	
		TSN 72	6,3 MVA	přesuvná	KK-006	KK6-1400/3	
		TSN 47	6,3 MVA	přesuvná	KK-005	KK6-1400/3	
		DT 50	6,3 MVA	přesuvná	KK-001	KK6-1400/3	
		DT 44	6,3 MVA	přesuvná			
	homoskládka	DT 35	10 MVA	přesuvná	KK-008	KK6-1400/3	
	skládka odpadů	TSN 56	6,3 MVA	přesuvná			
	ÚDUT	TR 35	2 x 6,3 MVA	stálá		2x KRV6-1400/3	
		TR 21	4 x 630 kVA + 2 x 1 MVA	stálá			
	přednádraží Březno	vlečka	100 kVA	stožárová			
	jídelsna Tušimice		2 x 630 kVA	stálá			
	TR 2 + TR 3	měniřny	EPOČ 1	3540 kVA	stálá		
			EPOČ 2	3540 kVA			
EPRU 1			3540 kVA	stálá			
EPRU 2			3540 kVA				
Ekometal		ext. odběr	630 kVA	stožárová			
WAP		ext. odběr	400 kVA	stožárová			
hradlo 2		vlečka	100 kVA	stožárová			
hradlo 3		vlečka	100 kVA	stožárová			
motokros		ext. odběr	100 kVA	stožárová			
Weber		ext. odběr	50 kVA	stožárová			
TR 3	S 1-3	DT 51	6,3 MVA	přesuvná			
		DT 52	6,3 MVA	přesuvná			
	S 2	TSN 62	6,3 MVA	přesuvná	KK-017	KRV6-1200/3	
	OČV	TSN 61	6,3 MVA	přesuvná			
		TSN 54	6,3 MVA	přesuvná			
		TSN 53	6,3 MVA	přesuvná			
	zemník Krbice		100 kVA	stožárová			
koupelny Březno		630 kVA	stožárová				
TR 4	S 1-1	DT 74	6,3 MVA	přesuvná	KK-002	KK6-1400/3	
		TSN 69	6,3 MVA	přesuvná	KK-007	KK6-1400/3	
		TSN 66	6,3 MVA	přesuvná	KK-018	KRV6-1200/3	
	S 2	TSN 59	6,3 MVA	přesuvná	KK-016	KK6-1400/3	
		DT 55	6,3 MVA	přesuvná	KK-015	KK6-1400/3	
	Lom	DT 71	6,3 MVA	přesuvná			
	montážní místo	TSN 57	6,3 MVA	přesuvná			
	nádrž Březno jih		160 kVA	stožárová			
	čistírna Březno	ČDV	1000 kVA	přesuvná			
	plac S 2		400 kVA	stálá			
	plac S 3		100 kVA	stálá			

Tab. 3.1 Seznam distribučních trafostanic na DNT

Přesuvné distribuční stanice jsou vybaveny transformátorem vlastní spotřeby s napěťovým převodem 35 / 0,23 kV v zapojení Yz1 o výkonu 100 kVA.

Distribuční transformátor 6,3 MVA je, na vstupní straně rozvodny 6 kV, kompenzován trvale připojenou kompenzační baterií o výkonu 300 kvar.



Obr. 3.11 Přesuvná distribuční trafostanice TSN 66, 69

3.3.1 Kompenzace distribučních bodů

Některé distribuční body jsou vybaveny skupinovou kompenzací řízenou regulátorem jalového výkonu. Přesuvné distribuční stanice jsou doplněny přesuvným kompenzačním kioskem o výkonu 1200 kvar, příp. 1400 kvar. Stálé distribuční stanice jsou vybaveny kompenzačními rozvaděči.

3.3.1.1 Přesuvný kompenzační kiosek

Je připojen kabelem na jeden z vývodů spínací stanice přesuvné distribuční stanice, na napěťové hladině 6 kV. Kompenzační kiosek je rozdělen na čtyři samostatná pole, oddělená přepážkou. V přívodním poli jsou umístěny přístrojové měniče proudu a napětí a také svodiče přepětí. Ve zbývajících třech polích je výzbroj jednotlivých kompenzačních stupňů, sestávající z pojistek, vakuového stykače, ochranné tlumivky a kondenzátoru příslušné velikosti. Poměr jednotlivých stupňů je 1:2:3 (200, 400 a 600 kvar), nebo 1:2:4 (200, 400 a 800 kvar).

Napětí a proud potřebné pro vyhodnocení posunu, se snímají na přívodu přesuvné distribuční stanice (35 kV), pomocí přístrojových transformátorů. Kompenzuje li kompenzační kiosek dvě

přesuvné distribuční stanice současně (jedna společná napájecí linka), nebo přesuvnou distribuční stanicí společně se spínacím kioskem napájení velkostroje, jsou proudy obou zařízení sčítány prostřednictvím speciálního součtového transformátoru, v poměru příslušejícím převodovým poměrům jednotlivých proudových transformátorů.



Obr. 3.12 Kompenzační kiosek přesuvné distribuční trafostanice DT 74



Obr. 3.13 2. a 3. stupeň kompenzačního kiosku

Řízení spínání a odpínání jednotlivých kompenzačních stupňů je ovládáno pomocí regulátoru jalového výkonu. Při odpojení některého z kompenzačních stupňů je jeho opětovné zapnutí blokováno po dobu čtyř minut. Některé kompenzační kiosky jsou navíc vybaveny kontrolou poruchy zapnutí vakuového stykače, kdy v případě, že dojde k odpadnutí vakuového stykače aniž by k tomu byl dán povel regulátorem, je opětné zapnutí tohoto kompenzačního stupně zablokováno a je hlášena porucha stykače. Tím je zabráněno kmitání stykače při poruše přídržného odporu (u použitých vakuových stykačů častý jev).

Kompenzační kiosky jsou vybaveny kontrolou pojistek, kontrolou tlaku v kondenzátorech, kontrolou otevření dveří, kontrolou stavu vypínače přívodu do kompenzačního kiosku, atd. Poruchy kompenzačního kiosku jsou signalizovány na signalizačním panelu.

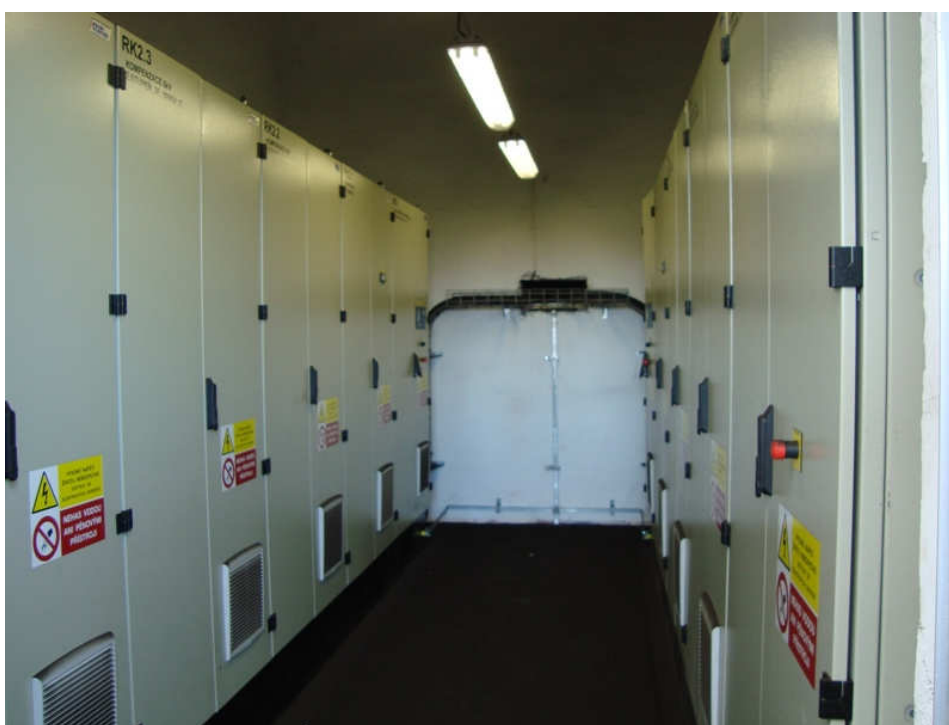


Obr. 3.14 Regulátor jalového výkonu a signalizace poruch kompenzačního kiosku

3.3.1.2 Kompenzační rozvaděč na TR 35

Tento kompenzační rozvaděč má kompenzovat zařízení, jako jsou drtiče uhlí, pásové dopravníky v jejich bezprostředním okolí a zařízení velkokapacitní skládky uhlí, napájené z rozvodny TR 35.

Na stálé distribuční stanici TR 35 je skupinová kompenzace umístěna ve dvou rozvaděčích s kompenzačním výkonem 2 x 1400 kvar. Na distribuční stanici TR 35 se nachází dvě samostatně napájené skupiny elektrických zařízení. Každá z nich je napájena z distribučního transformátoru o výkonu 6,3 MVA. Vývod každého z těchto transformátorů je kompenzován samostatnou kompenzační skupinou. Kompenzace je řízena regulátory jalového výkonu od firmy Janitza. Proudové, potřebné pro řízení regulace, jsou snímány na sekundární straně distribučních transformátorů.



Obr. 3.15 Kompenzační rozvaděče 2 x 1400 kvar na TR35

Kompenzace je provedena na napětíové hladině 6 kV. V kompenzátorovně jsou dvě samostatné skupiny kompenzačních rozvaděčů ve stejném provedení. V přívodním poli jsou umístěny přístrojové měniče proudu a napětí a také svodiče přepětí. Ve zbývajících třech polích je výzbroj jednotlivých kompenzačních stupňů sestávající z pojistek, vakuového stykače, ochranné tlumivky a kondenzátorů příslušné velikosti. Poměr jednotlivých stupňů je 1:2:4 (200, 400 a 800 kvar).

Kompenzační rozvaděče jsou vybaveny kontrolou pojistek, kontrolou tlaku v kondenzátorech, kontrolou otevření dveří, kontrolou stavu vypínače přívodu do kompenzačního rozvaděče, atd.



Obr. 3.16 3. stupeň kompenzačního rozvaděče na TR35 - 2 x 400 kvar

3.3.1.3 Kompenzační rozvaděč na ÚDUT I a ÚDUT II

Rozvodny ÚDUT I a ÚDUT II, jsou určené pro napájení pasových dopravníků, zásobníků uhlí a zařízení pro nakládku uhlí. Tyto pasové dopravníky jsou většinou krátké, takže výkon motorů je většinou menší – kolem 30 kW. Rozvodny ÚDUT I a ÚDUT II jsou proto vybaveny skupinovou kompenzací řízenou regulátorem jalového výkonu. Každá z těchto rozvodn je vybavena dvěma kompenzačními rozvaděči připojenými na koncích přípojníc, které prochází rozvaděči napájení vždy jedné dopravní linky.

Kompenzace je dvanáctistupňová s poměrem spínaných stupňů 1:1:1:2:2:2:4:4:4:8:8:8 s celkovým instalovaným výkonem 225 kvar. Kompenzační kondenzátory jsou chráněny pojistkami a jsou jim předřazeny tlumivky. Regulátor řídí spínání jednotlivých stupňů kompenzace na základě signálů napětí a proudu snímaných v přívodním poli příslušné skupiny rozvaděčů.

Kompenzační výkon rozvodn ÚDUT I a ÚDUT II je celkem 4 x 225 kvar.



Obr. 3.17 Kompenzační rozvaděč na ÚDUT 2 - 225 kvar

3.4 Napájení velkstrojů

Podle instalovaného výkonu velkstroje jsou napájeny na napěťové hladině 6 kV, případně 35 kV. Velkstroje se napájí vždy samostatně, z vývodu přesuvné distribuční stanice. Napájení je provedeno prostřednictvím vlečných kabelů, navinutých na kabelových vozech. Délka napájecího kabelu dosahuje až 5000 m.

Každý velkstroj je vybaven vlastním distribučním systémem. Po přivedení napětí na velkstroj je napájecí napětí transformováno, podle potřeby, na nižší napěťovou hladinu (většinou 6 kV) a následně je rozvedeno do jednotlivých rozvodů rozmístěných na stroji. Zde je distribuováno k jednotlivým elektrickým zařízením na této napěťové hladině, případně znovu transformováno na požadovanou napěťovou hladinu a opět distribuováno k jednotlivým zařízením.



Obr. 3.18 Kabelový vůz 35 kV s kabelem délky 1200m

Z velkstrojů jsou často napájená pomocná zařízení, jako S vůz ze zakladače, nebo pojízdný drtič z rypadla.

úsek	velkstroj	napětí přívodu [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace [kvar]	skupinová kompenzace [kvar]
S 1-1	SchRs 1550/30x4	35	4868	3360	1100	1150
	ZPD 6800.1	6	2500	1500	740	322
S 2	SchRs 1320/30x4	35	6593	4339	700	900
	ZP 5500/4	6	2500	1500	300	140
S 1-3	KU 800/20	35	7700	4340	400	4200
	ZPDH 6300/1	6	2500	1420	800	
L - OPF	KU 309	6	1000	898	7	392
	KU 322	6	1000	898	7	560
L - HPF	K 800/N1	6	900	760,5		450
	K 800/N2	6	900	760,5	16	256
	KU 327	6	1000	898	10	528
	KU 329	6	1000	898	10	528
	ZP 3500/8	6	750	630		182
ÚDUT	ZNKK 20/40	6	800	320		TR 35 (2x1400)
	KSS 40/35.1	6	1000	714		DT 35 (1400)
	KSS 40/35.1	6	1000	714		

Tab. 3.2 Seznam velkstrojů na DNT

3.5 Napájení dopravních linek

Je provedeno výhradně kabelovými rozvody. Centrální drtírna uhlí, skládka uhlí, nakládka uhlí na vagóny a zauhlení elektrárny jsou napájeny ze stálých (zděných) distribučních stanic, protože jejich pozice se nemění. Zbývající část těžební technologie je napájena z přesuvných transformačních stanic.

Pásové dopravníky se napájí na napěťové hladině 6 kV. Motory hlavních pohonů dopravní linky jsou napájeny na napěťové hladině 6 kV, 690 V nebo 400 V, podle použitého výkonu. Podle toho jsou poháněcí stanice osazeny příslušnými silovými transformátory.

Na poháněcích stanicích dopravní linky je instalována individuální kompenzace u motorů hlavních pohonů a u silových transformátorů. Velikost kompenzačních baterií je však dosti rozdílná.

Provoz skrývek (těžby nadložních zemin) sestává ze tří těžebnětechnologických celků.

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
S 1-1	DT 74	PD 270	6	1900	3x500	600	5
		PD 224	6	1900	4x500	800	5
		PD 261	6	1900	3x500	600	5
		PD 271	6	1900	3x500	800	5
		PD 267	6	1900	3x500	600	5
		PD 201	0,69	1900	3x500		18
	TSN 66	PD 265	6	1900	3x500	600	8
	TSN 69	PD 206	6	1900	3x500	600	8
		PD 212	6	1900	3x500	600	8
	TSN 62	PD 209	6	1900	3x500	300	8
PD 204		6	2400	4x500	600	8	
S 2	TSN 59	PD 205	6	2400	3x500	300	8
		PD 283	6	2400	4x500	400	8
		PD 284	6	2400	4x500	400	8
		PD 285	6	2400	4x500	400	8
		PD 286	6	2400	4x500	400	8
	DT 55	PD 218	6	2400	4x500	400	8
		PD 251	6	2400	4x500	400	8
		PD 282	6	2400	4x500	400	8
		PD 281	6	2400	4x500	400	8
		PD 207	6	2400	4x500	400	8
S 1-3	DT 51	PD 258	6	1900	3x500	600	8
		PD 219	6	1900	3x500	600	8
		PD 252	6	1900	3x500	300	8
		PD 255	6	1900	3x500	600	8
		PD 256	6	1900	3x500	600	8
	DT 52	PD 211	6	1900	3x500	600	8
		PD 203	6	2400	4x500	400	8

Tab. 3.3 Seznam poháněcích stanic v provozu SKRÝVKA (těžba nadložních zemin)

Provoz lom je vybaven třemi základními dopravními linkami pro přepravu uhlí a dvěma dopravními linkami pro zakládání nadložních zemin.

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
L - OPF	DT 44	PD 92	6	823	3x200	200	8
		PD 94	6	823	3x200	200	8
		PD 14	6	723	2x250	200	8
		PD 59	6	823	3x200	200	
		PD 111	6	1723	3x500	300	7
		PD 112	6	1723	3x500	300	7
	DT 50	PD 502	6	973	3x250	300	7
		PD 523	6	1723	3x500	300	5
		PD 102	6	1723	3x500	300	7
		PD 263	0,4	1660	4x250		5
		PD 264	0,4	1660	4x250		5
L - HPF	DT 73	PD 522	6	1723	3x500	300	5
		PD 524	6	1723	3x500	300	5
		PD 503	6	973	3x250	300	5
		PD 154	6	973	3x250	300	5
		PD 122	6	1723	3x500	300	7
		PD 124	6	1723	3x500	300	7
		PD 126	6	1723	3x500	300	5
		PD 105	6	1723	3x500	300	7
		PD 156	6	973	3x250	300	7
		PD 120	6	1723	3x500	300	5
	DT 58	PD 217	0,4	1030	2x250		5
		PD 215	0,4	1660	4x250		5
		PD 213	0,4	1030	2x250		5
		PD 208	0,4	1660	4x250		5
	TSN 47 + TSN 72	PD 20	6	723	2x250	200	8
		PD 64	6	723	2x250	200	7
		PD 58	0,4	823	3x200		
		PD 123	6	1723	3x500	300	7
		PD 16	6	723	2x250	300	5
		PD 17	6	723	2x250	300	5
	DT 71	TRM 268	0,4	1660	4x250		5
		TRM 151	6	973	3x250		
		PD 510	6	1723	3x500	300	5
		PD 202	6	1723	3x500	300	7
		TRM 18	6	973	3x250	200	8

Tab. 3.4 Seznam poháněcích stanic v provozu LOM

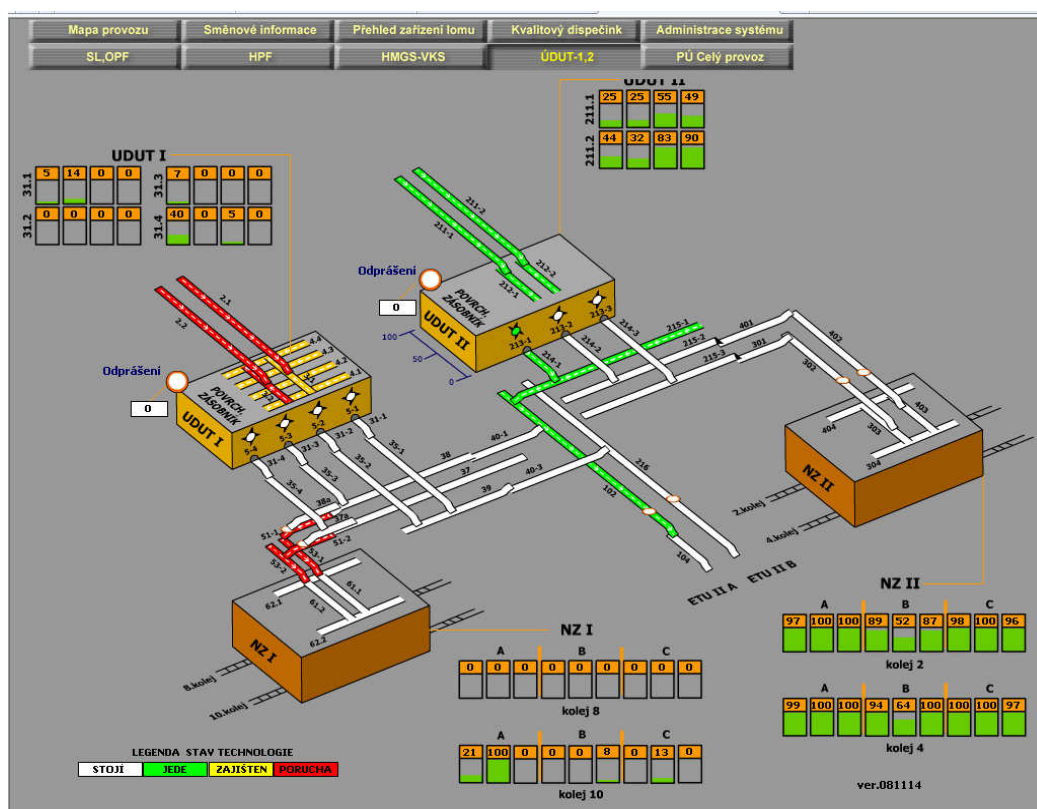
Provoz úpravy uhlí provozuje velkokapacitní skládku uhlí, homogenizační skládku, drtírenské provozy a nakládku uhlí na vagóny.

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
ÚDUT	TR 35	PD 501	0,4		2x200	kompenzováno skupinově na TR 35 (2x1400)	
		PD 11	0,4		315		
		PD 21	0,4		2x250		
		PD 31	6		2x250		
		PD 32	0,5		75		
		PD 33	6		2x315		
		PAS 41	0,4		160		
		PAS 46	0,4		2x45		
		PD 103	0,4		2x200		
		PAS103a	0,4		110		
		PD 521	0,4		2x200		
	DT 35	PD S2	6		500	kompenzováno skupinově na DT 35 (1400)	
		PD S3	6		500		
		PD S4	6		2x500		
		PD S5	6		2x500		
		PD S6	6		250		
		PD S7	6		2x500		
		PD S8	6		250		
	ÚDUT I	PAS 2	0,4		2x250	kompenzováno skupinově na ÚDUT I (2x225)	
		PAS 3	0,4		2x30		
		PAS 4	0,4		3x30		
		PAS 31	0,4		4x15		
		PAS 35	0,4		2x15		
		PAS 37	0,4		2x30		
		PAS 38	0,4		2x30		
		PAS 39	0,4		1x15		
		PAS 40	0,4		2x15		
		PAS 51	0,4		2x75		
		PAS 53	0,4		2x75		
	ÚDUT II	PAS 205	0,4		110	kompenzováno skupinově na ÚDUT II (2x225)	
		PAS 211	0,4		2x250		
		PAS 212	0,4		2x30		
		PAS 214	0,4		3x30		
	NZ II	PAS 201	0,4		110		
		PAS 215	0,4		3x30		
		PAS 301	0,4		250		
		PAS 302	0,4		110		
		PAS 303	0,4		30		
		PAS 401	0,4		250		
		PAS 402	0,4		110		
		PAS 403	0,4		30		
	ETU II	PAS 216	0,4		160		
		PAS 102	0,4		160		

Tab. 3.5 Seznam poháněcích stanic v provozu ÚDUT



Obr. 3.19 Celkový pohled na zařízení střediska ÚDUT (uprostřed)



Obr. 3.20 Schéma pasových dopravníků ÚDUT (dispečink)

3.6 Napájení pomocných zařízení přepravy

Mezi pomocná zařízení lze zařadit drtiče, PVZ, PVP, shazovací vozy, kabelové vozy, atd. Pomocná zařízení jako jsou S vozy nebo pojízdné drtiče jsou napájeny z velkostrojů, se kterými tato zařízení obvykle spolupracují.

Zařízení jako pojízdný vůz zakládací (PVZ), nebo pojízdný vůz překládací (PVP) jsou obvykle napájeny samostatně.

úsek	zařízení	napětí přívodu [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace [kvar]
S 1-1	SV27	0,5	190	150	
	SV28	0,5	215	150	50
	SV29	0,5	215	150	50
	SV30	0,5	215	150	
S 2	SV20	0,5	215	150	50
	SV21	0,5	215	150	50
	SV22	0,5	215	150	50
	SV33	0,5	215	150	50
	DSOH 33	6	520	400	
S 1-3	SV23	0,5	215	150	50
	SV24	0,5	215	150	50
	SV25	0,5	215	150	50
	SV26	0,5	215	150	50
	DSOH 31	6	620	500	
	DSOH 41	6	620	500	
L - OPF	DSOH 42	6	620	500	100
	PVZ 15	6	564	350	118
	PVZ 12	6	570	400	142
	PVZ 18	6	570	400	168
	PVZ 30	6	544	400	100
	PVZ 28	6	570	400	168
	PVZ 32	6	544	400	100
	PVZ 1	6	570	400	236
L - HPF	PVP 0	6	670	500	8
	PVZ 20	6	544	400	100
	PVZ 31	6	544	400	100
	PVZ 3	6	544	400	100
	PVZ 13	6	492	350	100
	PVZ 16	6	590	400	108
	PVZ 27	6	492	350	100
	PVZ 33	6	544	400	100
	PVZ 29	6	544	400	100
ÚDUT	Drtilč 15	6	1500	4x350	kompenzováno skupinově na TR 35 (2x1400)
	Drtilč 45	6	1500	4x350	
	PVZ 14	6	570	400	
	Drtilč 25	6	850	750	
	PVZ 19	6	570	400	

Tab. 3.6 Seznam pomocných zařízení přepravy

3.7 Napájení čerpacích stanic

Z lokality DNT se čerpá ročně cca 2,5 – 4 mil. m³ vody (což je asi 1/3 ročního přítoku), ta se následně čistí a vypouští zpět do povodí Ohře. Povodí všech 14 čerpacích stanic na DNT má rozlohu 65 km². Převýšení hlavní čerpací stanice je okolo 200 m.

Na DNT byl vytvořen systém typizovaných jednotek, pomocí kterých je řešena celá problematika odvodnění. Čerpací jednotku tvoří sestava jednoho až dvou, v sérii zapojených čerpadel Warman, s motory o výkonu 200 kW (4pól.), plnicím čerpadlem s výkonem 90 kW, které vytváří tlak na vstupu hlavního čerpadla a ponorným čerpadlem, které slouží k zavodnění sacího potrubí. Asi v polovině výtlačného potrubí (výškově) je vřazena další čerpací jednotka o stejném výkonu.

Motor hlavního čerpadla se napájí na napětíové hladině 3 x 6 kV IT, motor plnicího čerpadla a ponorného čerpadla je napájen na napětíové hladině 3 x 500 V IT. K napájení této sestavy slouží, pro tento účel navržená, přesuvná rozvodna, vybavená ovládacími obvody a transformátorem o výkonu 400 kVA. Motor hlavního čerpadla je kompenzován pomocí hrazené kondenzátorové baterie 100 kvar, připojené mezi stykačem a proudovými měniči ochrany motoru.

Transformátor je kompenzován kompenzační baterií 5 kvar.



Obr. 3.21 Čerpací stanice včetně napájecího kiosku – čerpadla zapojena do série s motory 200 kW/ 6 kV

3.8 Kabelové rozvody

Za padesát let provozování se na povrchovém lomu DNT sešlo velké množství kabelů různých typů a od různých výrobců. Především vývoj izolačních materiálů a materiálů používaných na plášť kabelů značně pokročil. Kvalita těchto kabelů je nesporná, neboť ač vystaveny tvrdým podmínkám (vlivy prostředí, mechanické namáhání, atd.), slouží některé z nich i více než 30 - 40 let.

K distribuci elektrické energie se na DNT používají kabely napětové hladiny 6 kV a 35 kV. Na napětové hladině 6 kV IT se k napájení používají kabely průřezů 95 mm² a 120 mm². Na napětové hladině 35 kV IT se k napájení používají kabely průřezů 70 mm² a 50 mm².

Typickým příkladem kabelů, používaných na DNT, jsou kabely od firmy Draka s těmito vlastnostmi:

Kabel 6-CHCU [14]



Obr. 3.22 Kabel 6 CHCU [14]

- Konstrukce:
1. Měděné jádro, jemně lanované, pocínované, tř. 5
 2. Polovodivá páska
 3. Vložka
 4. Pryžová izolace
 5. Polovodivá vrstva
 6. Polovodivá páska
 7. Vnitřní plášť polovodivý
 8. Vnější chloroprénový plášť

Jmenovité napětí	$U_0/U = 3,6/6$ kV
Zkušební napětí	15 kV
Max. teplota při zkratu	250°C
Provozní teplota jádra	90°C
Minimální teplota manipulace	-30°C

počet žil x průřez [mm ²]	vnější průměr [mm]	hmotnost [kg/km]	poloměr ohybu [mm]	odpor vodičů [W/km]	kapacita [μF/km]	indukčnost [mH/km]	ekvivalentní zkratový proud 1s [kA]	časová oteplovací konstanta [s]	zatižitelnost na vzduchu [A]
3x95+3x16	60-65	5950	380	0,21	0,47	0,277	11,59	599	370
3x95+3x16	63-68	7120	410	0,164	0,49	0,272	14,64	783	409

Tab. 3.7 Parametry kabelů 6-CHCU [14]

Kabel 35-CHVU [15]



Obr. 3.23 Kabel 35 CHVU [15]

- Konstrukce:
1. Měděné jádro, jemně lanované, pocínované, tř. 5
 2. Polovodivá vrstva
 3. Pryžová izolace
 4. Polovodivá vrstva
 5. Polovodivá textilní páska
 6. Vnitřní plášť polovodivý
 7. Měděný koncentrický vodič (25mm²)
 8. Textilní páska
 9. Vnější chloroprenový plášť

Jmenovité napětí $U_0/U = 20/35$ kV

Zkušební napětí 53 kV

Max. teplota při zkratu 250°C

Provozní teplota jádra 90°C

Minimální teplota manipulace -30°C

počet žil x průřez [mm ²]	vnější průměr [mm]	hmotnost [kg/km]	poloměr ohybu [mm]	odpor vodičů [W/km]	kapacita [μF/km]	indukčnost [mH/km]	ekvivalentní zkratový proud 1s [kA]	časová oteplovací konstanta [s]	zatižitelnost na vzduchu [A]
3x50+3x16+25	92	9920	800	0,393	0,18	0,42	6,4	331	215
3x70+3x16+25	99	12022	800	0,277	0,207	0,387	10,0	701	252

Tab. 3.8 Parametry kabelů 35-CHVU [15]

4 Možnosti technického řešení kompenzace

4.1 Kompenzace poháněcí stanice

Dopravní linka dálkové pasové dopravy má časové využití vyšší než 6000 hod. ročně. Proto jsou ztráty ve vedení způsobené nevykompenzováním pohonů dopravní linky vysoké.

4.1.1 Hlavní pohony dopravní linky pásového dopravníku

Počet těchto motorů se může lišit, podle aktuálních potřeb postavení konkrétního pásového dopravníku v dopravní lince. Tyto motory jsou obvykle v provedení asynchronního kroužkového motoru s odporovým, případně indukčním (Industart) spouštěním. Výkon těchto motorů se může také lišit podle výkonnostní řady dopravní linky. Například u výkonnostní řady TC2 se nejčastěji používají šestipólové motory 1YGD 600L-6 (příp. G600Z6) o výkonu 500kW a $\cos \varphi = 0,87$, které jsou napájeny na napěťové hladině 3 x 6 kV AC. Na jedné dopravní lince se může nacházet až 50 motorů tohoto výkonu i více.

Protože zatížení dopravní linky se neustále mění, mění se i zatížení těchto motorů. Výkon těchto motorů musí být nadimenzován tak, aby se dopravní linka byla schopna rozjet z klidu a to i při maximálním možném naložení (rozjezd pod materiálem). Proto se výkon motorů předimenzuje tak, aby vyhovoval tomuto požadavku. Při navyšování počtu pohonů se však snižuje zatížení jednotlivých motorů a tím se zhoršuje účinník $\cos \varphi$.

Pro vykompenzování motorů hlavních pohonů se používá individuální kompenzace. Po sepnutí stykače motoru je současně s motorem připojen kondenzátor příslušného výkonu, který zajišťuje vykompenzování výkonu tohoto motoru. Pro motor 1YGD 600L-6 o výkonu 500kW se optimální velikost kondenzátorové baterie pohybuje od 180 kvar do 200 kvar.

Motory dopravní linky poháněcí stanice se kompenzují statickými kondenzátory připojenými přes pojistky paralelně k motoru. Na napájecí svorky kondenzátoru, nebo v jejich bezprostřední blízkosti, se musí připojit také vybíjecí odpory. Kondenzátory se připojují zásadně mezi stykač a proudové měniče určené k měření proudů, aby nebyly proudy, vyhodnocované proudovou ochranou, zkreslené. Velikost kondenzátorové baterie musí být dostatečně veliká, aby vykompenzovala účinník poháněcí stanice na hodnotu $\cos \varphi_1 = 0,91$ při nezatížené dopravní lince.

Počet hlavních pohonů pásového dopravníku je vhodné optimalizovat (snížit) podle aktuálního postavení. Nejlépe je zjistit odběry všech motorů, při maximálním zatížení dopravníku a pokud se odběr všech pohonů pohybuje pod 2/3 jmenovitého proudu motorů je vhodné snížit počet pohonů

poháněcí stanice. Odběr odpojeného motoru se rozdělí mezi zbývajících motory a automaticky se zlepší i účinník. U některých poháněcích stanic lze snížit počet pohonů na dva (z původních čtyř). Pokud se počet pohonů sníží na dva, je nutné dodržet pravidlo alespoň jednoho motoru na hnací buben.

Nově modernizované pásové dopravníky používají pro hlavní pohony dopravní linky asynchronní motory nakrátko. řízené výkonovými frekvenčními měniči. Tyto motory jsou napájeny na napětové hladině 3 x 400V AC, nebo 3 x 690V AC.

Motory pohonů, napájených z frekvenčních měničů, se obvykle nemusí kompenzovat na frekvenci první harmonické, ale je nutné je doplnit o kompenzační filtr 5. a 7. harmonické (u nejběžněji používaných šestipulzních frekvenčních měničů).

4.1.2 Motory napínání

Poháněcí stanice je vybavena jedním až dvěma motory pohonu napínání pásma o výkonu 75 kW. napájené na napětové hladině 3 x 400V AC. U modernizovaných poháněcích stanic je jeden z motorů napájen frekvenčním měničem.

Tyto motory není vhodné kompenzovat, protože časové využití těchto motorů je velice nízké a investice do kompenzační baterie by se nám nevyplatila.

4.1.3 Motor prašného pasu

Motor prašného pasu je napájen na napětové hladině 3 x 500V IT, nebo 3 x 400V TN-C. Výkon tohoto motoru se pohybuje v rozsahu 5,5 – 7,5 kW. Tento motor se obvykle nekompenzuje.

4.1.4 Kompenzace transformátoru

Na sekundární straně silového transformátoru je na svorky připojen kondenzátor kompenzace transformátoru, který je vhodné jistit výkonovými pojistkami.

Na poháněcí stanici se mimo hlavní silový transformátor nachází další transformátory, které se však obvykle nekompenzují.

4.2 Kompenzace S vozu

S vůz je napájen vlečným kabelem na napětíové hladině 3 x 500V IT, případně 3 x 400 V TN-C. Předepsaný průřez napájecího kabelu je 4 x 120mm², což se, z manipulačních důvodů, obvykle nedodržuje. Při rozjezdu pásku S vozu potom dochází k nedovolenému poklesu napětí.

Nejvýznamnějšími pohony S vozu jsou motory pásku – 2 x 75 kW (případně 95 nebo 110 kW). Pro tyto motory je vhodná individuální kompenzace, připojená mezi stykačem a ochranou motoru. Velikost kompenzační baterie je 25 kvar na jeden motor (o výkonu 75 kW)

U S vozů vybavených frekvenčními měniči na pohonech pásku se kompenzace $\cos\varphi$ u 1. harmonické neprovádí. Protože se však většinou pro napájení používají šestipulzní měniče je nutné filtrovat především 5. a 7. harmonickou.

4.3 Kompenzace velkstroje

Kompenzaci velkstroje můžeme rozdělit do několika částí:

4.3.1 Dopravní linka stroje

Vzhledem k tomu, že časové využití motorů dopravní linky stroje je více jak 6000 hodin ročně je kompenzace těchto pohonů významná. Motory pohonů dopravní linky velkstroje jsou napájeny na napětíových hladinách 3 x 6 kV IT, 3 x 500 V IT, 3 x 400 V TN-C a pro pohony s FM nad 400 kW se používá napětíová hladina 3 x 690 V TN-C.

Kompenzace pohonů dopravní linky se provádí jako individuální (u větších výkonů), případně jako skupinová (např. skupina několika tlumících bubnů, nebo dvou motorů, menšího výkonu, jednoho pasového dopravníku stroje. Při skupinové kompenzaci několika motorů, se kompenzace připojuje současně s posledním motorem ve skupině, případně je připojena samostatným stykačem po najetí všech motorů skupiny (většinou u malých výkonů jako jsou dopadové bubny). Kompenzace motorů dopravní linky se připojuje přes pojistky a obvykle je jí předřazena tlumivka (hrazená kompenzace).

4.3.2 Skupinová kompenzace rozvodny

Velkstroje jsou osazeny větším množstvím menších pohonů (motorů) různého určení jako jsou pohyby stroje, osvětlení, kompresory, hydraulická zařízení, atd.. Časové využití těchto pohonů je

většinou nízké. Proto se některé rozvodny velkostrojů osazují skupinovou kompenzací, ovládanou regulátorem. Kompenzační rozvaděč je většinou vybaven několika kompenzačními stupni s odstupňovaným výkonem. Jednotlivé stupně jsou chráněny pojistkami a jsou vybaveny tlumivkou (hrazená kompenzace). Regulátor připojuje a odpojuje jednotlivé stupně kompenzace pomocí stykačů. Snímání napětí a proudu, pro regulátor jalové energie se potom provádí na přívodu rozvodny (rozvaděče).

Nebezpečné pro takto regulovanou kompenzaci je použití frekvenčních měničů a rekuperačních jednotek například u zdvihu kolesového výložníku na rypadlech. Dojde-li za chodu frekvenčního měniče nebo rekuperační jednotky k sepnutí, nebo odepnutí kompenzačního stupně dochází vlivem přechodných dějů a špatné filtraci harmonických k poškození kondenzátorů kompenzace, nebo polovodičů frekvenčního měniče. Proto je důležité aby v momentě spuštění frekvenčního měniče bylo zakázáno připojování a odpojování kompenzačních stupňů.

4.3.3 Kompenzace přívodu velkostroje

U velkostrojů vyšších výkonostních tříd (TC2 a TC3) se velkostroje napájí na napěťové hladině 3 x 35 kV IT. Na přívodu velkostroje je umístěn transformátor (nebo skupina transformátorů v paralelním zapojení), který převádí toto napětí na napěťovou hladinu 3 x 6 kV IT. Toto napětí je dále rozvedeno do rozveden po stroji, kde se transformuje podle potřeby na nižší napěťové hladiny, případně je využito k napájení pohonů větších výkonů.

Abychom přes přívodní transformátor dokázali přenést co nejvyšší výkon, je na přípojnicích přívodu (v blízkosti přívodu sekundárního vinutí přívodního transformátoru) umístěna skupinová kompenzace řízená regulátorem. Řídící proud a napětí jsou snímány na přívodu ze sekundární strany přívodního transformátoru. Regulátor jalového výkonu je v tomto případě nastaven tak, aby kompenzoval $\cos \varphi_1 = 1$. V tomto případě není na závalu dojde-li k mírnému překompenzování.

Kompenzace přívodu se provádí přímo na napěťové hladině 6 kV, nebo se připojuje přes samostatný transformátor určený pouze pro kompenzaci. Kompenzační rozvaděč je vybaven obvykle šesti, výkonově odstupňovanými, stupni. Podobně, jako u skupinové kompenzace, jsou jednotlivé stupně chráněny pojistkami a jsou vybaveny tlumivkou (hrazená kompenzace). Regulátor připojuje a odpojuje jednotlivé stupně kompenzace pomocí stykačů. Pokud je kompenzace umístěna na nižší napěťové hladině (např. 400V) lze pro spínání použít bezkontaktní spínací jednotky, které mohou zkrátit čas znovuzapnutí odpojovaného kondenzátoru.

4.4 Kompenzace drtiče

Vzhledem k výkonu motoru pohonu drtiče, který se může pohybovat od 750 kW do 1 MW, a časovému využití přes 6000 hodin ročně, je individuální kompenzace tohoto pohonu vhodná. Kompenzace takového pohonu má však svá specifika.

Pro kompenzaci pohonu drtiče se používá individuální kompenzace. Je však důležité, aby tento kompenzační kondenzátor byl připojován samostatným spínacím prvkem (stykačem) a ne společně s motorem (jedním stykačem). Dále je nutné volit napěťovou hladinu kondenzátoru alespoň o jeden stupeň vyšší, než je napěťová hladina motoru. Setrvačné hmoty rotoru motoru a rotoru drtiče mohou způsobovat samobuzení a tím navyšování napětí v odpojené části obvodu. Pokud by se v této části obvodu nacházel kompenzační kondenzátor, může dojít, vlivem překročení jmenovitého napětí kondenzátoru, k jeho poškození.

4.5 Kompenzace čerpacích stanic

Čerpací stanice se nachází většinou na konci dlouhého kabelového vedení. Výkon čerpací stanice se podle převýšení a množství čerpané vody může pohybovat až do velikosti řádově stovek kW. Proto je vhodné motory čerpadel kompenzovat pomocí individuální kompenzace, která se připojuje a odpojuje společně s motorem čerpadla. Tím se zlepší napěťové poměry na konci vedení, sníží se hodnota přenášeného proudu a tím i ztráty na vedení.

4.6 Kompenzace přesuvné distribuční trafostanice

4.6.1 Distribuční transformátor

Přesuvné distribuční transformátory 35 kV / 6 kV jsou kompenzovány podle jejich velikosti. Např. nejpoužívanější výkon 6,3 MVA je kompenzován kondenzátorovou baterií 300 kvar. Kondenzátory jsou umístěny v samostatné kobce přesuvné spínací stanice (u TSN) a jsou jištěny pojistkami. U novějšího typu přesuvné trafostanice (DT) jsou tyto kondenzátory umístěny v samostatném poli 6 kV rozvaděče, před vypínačem přívodu 6 kV (vývod sekundární strany transformátoru) a mají také, kromě pojistek, předřazenou ochrannou tlumivku.

4.6.2 Přesuvný kompenzační kiosek

Přesuvný kompenzační kiosek slouží ke kompenzaci přesuvné distribuční trafostanice. Sestává z přívodního pole, a třístupňové kompenzace s poměrem odstupňování 1:2:3, nebo 1:2:4. Kompenzační kiosky se vyrábí pro napětíovou hladinu 6 kV. Celkový výkon kompenzačního kiosku je 1200 kvar, nebo 1400 kvar. Jednotlivé stupně jsou jištěny pojistkami a hrazené tlumivkou. Jednotlivé kompenzační stupně jsou ovládány regulátorem jalového výkonu prostřednictvím vakuových stykačů.

Kompenzační kiosek se připojuje kabelem do jednoho z vývodů 6 kV přesuvné spínací stanice. Podle místa měření proudu a napětí můžeme kompenzovat:

- sekundární stranu distribučního transformátoru (kompenzace kabelových vývodů 6 kV),
- přívod 35 kV (transformační stanici jako celek),
- více transformačních stanic na jedné napájecí lince (obvykle dvě),
- napájecí bod jako celek (transformační stanici a spínací kiosek napájení velkostroje).

Aby kompenzační kiosek byl schopen „regulovat“ (regulace je omezena maximálním kompenzačním výkonem), je nutné, aby elektrická zařízení, napájená z příslušné distribuční stanice, byla vykompenzována alespoň na $\cos \varphi = 0,91$ při chodu naprázdno.

Kompenzujeme-li napájecí bod jako celek, případně více transformačních stanic, může nastat situace, kdy spínací stanice, na níž je kompenzační kiosek připojen, je překompenzována.

Při kompenzaci napájecího bodu jako celku, případně více transformačních stanic současně, se pro měření proudu používá součtový proudový transformátor, který musí sečíst proudy měřených zařízení v poměru převodových poměrů proudových měničů jednotlivých zařízení.

Například při kompenzaci dvou distribučních stanic současně jsou převodové poměry proudových měřících transformátorů stejné v poměru 400/5 A. Maximální vstupní proud regulátoru jalového výkonu je také 5A. V součtovém transformátoru tedy může vstupní hodnota jednoho vstupu 5A vybudit na výstupním vinutí max. 2,5 A. Vstupní vinutí jsou tedy navinuta v poměru 1:1.

Při současné kompenzaci distribuční stanice a spínacího kiosku napájení velkostroje jsou převodové poměry proudových měřících transformátorů rozdílné v poměru 400/5 A (distribuční stanice) a 100/5A (spínací kiosek napájení velkostroje). Vstupní vinutí součtového transformátoru jsou tedy navinuta v poměru 4:1.

Převodový poměr, zadávaný do regulátoru jalového výkonu, se potom určí ze součtu vstupních rozsahů obou proudových měničů dělený výstupním proudem součtového transformátoru.

4.7 Kompenzace napájecího bodu povrchového lomu

Napájecí bod povrchového lomu musí splňovat všechna kritéria ve vztahu dodavatel – odběratel, proto je napájecí bod vybaven kompenzací nesymetrie venkovních vedení a centrální kompenzací jalového výkonu.

4.7.1 Centrální kompenzace

Centrální kompenzace je nejdůležitějším kompenzačním prvkem celé napájecí soustavy povrchového dolu, neboť jejím nejpodstatnějším úkolem je zajištění správné hodnoty účinníku $\cos\varphi$ ve vztahu k veřejné distribuční síti. Proto jsou na ni kladeny vysoké nároky s ohledem na spolehlivost regulace a nízkou poruchovost. Dalším úkolem centrální kompenzace je filtrace harmonických, které se vyskytují v napájecí soustavě povrchového dolu.

Centrální kompenzace se umísťuje na každý napájecí bod povrchového lomu. Přesto, že přívod z veřejné distribuční sítě je proveden dvojicí přívodních linek, používá se vždy pouze jedna a druhá slouží jako záložní. Hodnoty napětí a proudu pro potřeby regulátoru se snímají na primární straně hlavního transformátoru 110/35 kV.

Centrální kompenzace se provádí jako statická, na napěťové hladině 6 kV, proto je připojena na sekundární straně hlavního transformátoru prostřednictvím dalšího transformátoru 35/6 kV, který je určen výhradně pro účely kompenzace. Maximální hodnota kompenzačního výkonu je tedy omezena výkonem tohoto transformátoru. Kompenzační výkon centrální kompenzace by měl dosahovat takové hodnoty, která je schopna pokrýt potřeby celého povrchového dolu. Platí úměra, že čím lepší je individuální kompenzace motorů a skupinová kompenzace distribučních přesuvných stanic, tím menší je potřebný regulační výkon centrální kompenzace. Přesto je nutné počítat i s jistou rezervou pro případ výpadku některého z kompenzačních zařízení nižšího stupně.

Při návrhu kompenzačních stupňů je nutné řešit jednotlivé stupně tak, aby účinník zůstal zachován v přípustných mezích. Naopak velmi jemné dělení, s vyšším počtem kompenzačních stupňů, vede k prodražení investice. Ideální by bylo zapojení jednotlivých stupňů v poměru 1:1:1:1:1... a spínat tyto do kruhu, kdy na jedné straně se připojují další stupně a na druhé straně se odpojují, dle aktuální potřeby. To vede k rovnoměrnému zatěžování všech stupňů a spínacích prvků. Další výhodou tohoto zapojení je prodloužení časové prodlevy do znovuzapnutí stejného kompenzačního stupně (znovuzapnutí je omezeno vybíjením kondenzátoru – běžně 3 - 4 min.). Ve skutečnosti se volí takzvaná ekonomická varianta, kdy zapojení jednotlivých stupňů je například v poměru 1:1:2:4 a tyto

jsou spínány podle váhy určené regulátorem. Při časovém omezení do znovuzapnutí je reakce tohoto provedení regulace pomalejší.

Při návrhu je také nutné pamatovat na to, že při náhlém odpojení části technologie (jako je například výpadek dopravní linky) dojde k náhlému odlehčení sítě, čímž dojde k rychlému nárůstu napětí na kompenzačních kondenzátorech a proto je lepší volit napětěvou hladinu kondenzátorů o stupeň vyšší než je provozní napětěová hladina.

4.7.2 Kompenzace napětěové nesymetrie

Úkolem tohoto zařízení je kompenzovat napětěovou nesymetrii způsobenou postavením vodičů na stožárech venkovního vedení 35 kV distribuční soustavy dolu. S ohledem na uspořádání vodičů a vzájemnou kapacitní vazbu mezi jednotlivými vedeními je v distribuční síti vysoká hodnota fázové zemní kapacitní nesymetrie. To se projevuje především při ladění zhášecí tlumivky do paralelní rezonance za účelem eliminace zemních kapacitních proudů při zemním spojení. Vliv fázové kapacitní nesymetrie způsobuje výrazné rozvážení fázových napětí ve vyladěném stavu zhášecí tlumivky a vysokou hodnotu nulové složky napětí. Tato nulová složka napětí přesahuje hranici pro zemní spojení. V takové síti potom není možné provozovat zhášecí tlumivku ve vyladěném stavu. [3]

Zhášecí tlumivka je potom provozována v podladěném stavu. V případě zemního spojení je tímto rozladěním zvýšena hodnota poruchového proudu a v soustavě se vyskytují vyšší hodnoty dotkových a krokových napětí. Při obloukovém zemním spojení je potom obtížné přerušení tohoto oblouku. Tyto jevy snižují bezpečnost a spolehlivost provozu distribuční soustavy a způsobují rychlejší degradaci izolačního systému této soustavy. [3]

Fázová nesymetrie je způsobena rozdílnou kapacitou jednotlivých fázových vodičů proti zemi. Základem řešení je vyrovnaní fázových kapacit přídavnými kondenzátory. Vzhledem k nutnosti zajistit vyrovnaní fázových kapacit i v případě změn konfigurace distribuční sítě je voleno 6 stupňů kondenzátorových baterií pro každou fázi. Každý stupeň má dvojnásobnou hodnotu kapacity předchozího stupně. Tím je celý regulační rozsah rozdělen na 63 kroků. Vzhledem k napětěovému převodu je nutné volit vyšší kapacity kondenzátorových baterií. Přepočet velikosti kapacit je dán druhou mocninou napětěového převodu transformátoru. Přes transformátor se v důsledku připojování kompenzačních stupňů do jednotlivých fází přičte připojovaná kapacita k fázové zemní kapacitě jednotlivých vodičů. Tím se dosáhne vyrovnaní fázové kapacitní nesymetrie a zajistíme tak požadovanou symetrii fázových napětí v distribuční síti 35 kV i při vyladěném stavu zhášecí tlumivky. Připojování jednotlivých kompenzačních stupňů je řízeno automaticky autonomním řídicím systémem.

Během procesu kompenzování napětěové nesymetrie dochází k ovlivňování úrovně napětí U_0 v síti 35kV. Při těchto změnách hodnoty U_0 standardně dochází k aktivaci ladění zhášecí tlumivky

instalované v uzlu transformátoru 110/35 kV. Před zahájením kompenzace (přepínání stupňů kompenzace) musí být provedeno zablokování ladění tlumivky z řídicího systému. [3]

4.8 Dekompenzace kabelových vedení

Kapacitní charakter kabelových vedení způsobuje, že při vypnutí těžební technologie dochází ke zpětné dodávce kapacitní jalové energie do distribuční sítě povrchového lomu. Je-li v té době v chodu jiná část těžební technologie, je tato energie alespoň z části odebrána touto technologií, případně zareaguje regulátor centrální kompenzace v napájecích bodech lomu a sníží kompenzační výkon centrální kompenzace. Pokud je však kompenzační výkon kabelových vedení vyšší než kompenzační výkon centrální kompenzace, který je možné v danou chvíli odpojit, je přebytek kapacitní jalové energie dodán zpět do veřejné distribuční sítě.

Čím vyšší je napětí na kabelu a čím rozsáhlejší je distribuční síť, tím dosahuje kapacitní jalový výkon větších hodnot.

Pro srovnání na 3000 m kabelu na napěťové hladině 35 kV byl naměřen kapacitní jalový výkon o velikosti cca 300 kvar, zatímco na 20000 m kabelu na napěťové hladině 6 kV byl naměřen kapacitní jalový výkon o velikosti cca 200 kvar. Kapacitní jalový výkon 500 kvar odpovídá technologii jednoho řezu (rypadlo, dopravní linka a zakladač). Na třech skrývkových řezech to tedy může být okolo 1500 kvar kapacitního jalového výkonu v kabelových rozvodech.

Jak je vidět, může kapacitní jalový výkon nezátížených kabelových vedení dosahovat značných hodnot. Tento výkon při běžném provozu „pomáhá“ kompenzovat induktivní charakter zátěže motorů. Pokud se rozhodne o dekompenzaci kapacitní jalové energie kabelových vedení, je nutné počítat s tím, že je nutné mít rezervu kapacitního jalového výkonu v kondenzátorech, nejlépe individuální kompenzace, která pokryje dekompenzovaný výkon kabelových vedení.

4.8.1 Kabelová vedení 6 kV

Kabelové rozvody 6 kV způsobují, při vypnutí technologických zařízení, přebytek kapacitní jalové energie. Přebytek této kapacitní energie lze dekompenzovat úpravou velikosti kompenzační baterie na sekundární straně distribučního transformátoru, ze kterého je napájena přesuvná spínací stanice. Vzhledem k tomu, že délky kabelů se neustále mění, je vhodné alespoň jednou ročně určit měřením velikost kapacitní jalové energie 6 kV kabelových rozvodů a upravit podle potřeby velikost kompenzační baterie distribučního transformátoru.

4.8.2 Kabelová vedení 35 kV

Kabelová vedení 35 kV tvoří především přesuvné napájecí trasy velkstrojů, výkonnostní třídy TC2 a TC3. Jsou složeny z kabelů délky přibližně 1000 – 1200 m navinutých na kabelových vozech a kabelových zásobnících. Ty jsou zapojeny za sebou a vřazují se (případně vyřazují) dle báňskotechnologických požadavků. Jak je uvedeno výše, kabely, na napěťové hladině 35 kV, mají mnohem vyšší kapacitní jalový výkon, než 6 kV kabely. Vzhledem k proměnné délce napájecího kabelového vedení se jeví jako nejvhodnější doplnit na každý kabelový vůz (kabelový zásobník) paralelně připojenou kompenzační tlumivku o výkonu odpovídajícímu délce kabelu navinutého na kabelovém bubnu (cca 100 kvar). Vložním takového kabelu do napájecí trasy by se automaticky připojila i kompenzační tlumivka kompenzující připojený kabel.

Závěr

Ve vztahu „dodavatel – odběratel“ se kompenzace účinníku na povrchovém uhelném lomu „Doly Nástup Tušimice“ nachází na velmi dobré úrovni, neboť za hodnocené období roku 2011 sledovaná hodnota účinníku neklesla pod hodnotu $\cos \varphi = 0,95$ ind. Těchto hodnot je dosahováno především zásluhou vhodně nadimenzované centrální kompenzace v napájecích bodech povrchového lomu. Výjimkou jsou kapacitní dodávky jalové energie vrácené do rozvodné sítě ve dnech odstávek provozu, jako jsou například svátky, neboť tento problém nelze řešit použitou statickou kompenzací. Tato zpětná dodávka jalové energie je způsobena velkým rozsahem kabelových rozvodů, především na napěťové hladině 35 kV a 6 kV. Je tedy nutné se touto problematikou nadále zabývat. Na napěťové hladině 6 kV je možné vyřešit tento problém, poměrně jednoduše, úpravou velikosti kompenzační baterie distribučních transformátorů 35/6 kV. Na napěťové hladině 35 kV je možné dekompenzovat kapacitu kabelů dekompenzačními tlumivkami, umístěnými na kabelových vozech, nebo řízenou dekompenzací v napájecích bodech povrchového lomu. Zatímco v prvním případě není nutná žádná další regulace, ve druhém případě je nutná regulace pomocí regulátoru. Při dekompenzaci je vždy nutné počítat s tím, že připojením dekompenzačních tlumivek se zvýší nároky na ostatní kompenzační prostředky za normálního provozu.

V kompenzaci interní distribuční sítě viz tabulky v přílohách, jsou značné rozdíly. Některé vývody jsou vykompenzovány velmi dobře ($\cos \varphi \geq 0,95$), zatímco jiné se pohybují dokonce na hodnotě účinníku $\cos \varphi < 0,6$, což vede k přetěžování rozvodů a distribučních transformátorů. Tento stav také více zatěžuje centrální kompenzaci v napájecích bodech povrchového lomu.

Pro zlepšení této situace doporučuji doplnit veškeré distribuční body (transformátorové stanice) o kompenzační kiosek a především optimalizovat počty pohonů jednotlivých poháněcích stanic dopravních linek, protože některé dopravní linky mají v tomto bodě ještě značné rezervy. Pomocí kompenzačních baterií odpojených motorů, lze následně posílit individuální kompenzaci zbývajících pohonů poháněcí stanice.

Na některých velkостrojích a pomocných zařízeních je potřeba doplnit především individuální kompenzaci motorů u pohonů dopravních linek. Tato opatření by významně přispěla ke snížení ztrát v napájecích kabelových rozvodech interní distribuční soustavy DNT.

Seznam použité literatury

Monografie

- [1] ABB S.P.A. *Power factor correction and harmonic filtering in*. Italy, Bergamo, 2008.
Dostupné z:
[http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/\\$file/vol.8.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/$file/vol.8.pdf)
- [2] BOHEMIAPLAN S.R.O. *Kompensace účinníku na ZSML a ZUL DNT, a.s.: Náhrada rotačních kompenzátorů*. 1. vyd. Plzeň, 2001. BP 1694-T-05551.
- [3] EGE S.R.O. *Systém kompenzace fázové napětové nesymetrie sítě 35kV na DNT*. 1. vyd. České Budějovice, 2008.
- [4] ELCOM A.S. *Měření výkonové bilance a harmonických: analýza stavu kompenzačních prostředků na DNT*. 1. vyd. Ostrava, 2002. číslo dokumentu: EOPM02010.
- [5] HEŘMAN, Josef, et al. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984, 1026 s. edice 04-502-84, 05/32.
- [6] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [7] KORENC, Vladimír. *Kompensace jalového výkonu v praxi*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 127 s. ISBN 80-862-3007-4.
- [8] NPD 31-7-702. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Rozvody elektrické energie*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2003.
- [9] PRVNÍ ELEKTRO A.S. *Kompensace TR35: 1400 kvar/6 kV*. 1. vyd. Chomutov, 2011. identifikační číslo: 472-0303S/EAA101.
- [10] SPD 31-1-12. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Navrhování elektroenergetických rozvodných zařízení v uhelných lomech*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2010.
- [11] ŽÁČEK, Jaroslav. Účinník v teorii a praxi. *Elektro*. 2004, roč. 14, č. 12, s. 3.

Elektronické zdroje

- [12] KOŠŤÁL, Josef. Kompenzace elektrického jalového výkonu. *Elektro* [online]. 2009, č. 3, s. 3 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38682
- [13] MOLNÁR, Miloš. Zlepšení účinníku v energetice a návrh vhodných kompenzačních prostředků. [online]. s. 9 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/molnarm/pdf/kompenzace.pdf>
- [14] 6-CHCU. DRAKA. *Draka Prysmian Group: katalog produktů* [online]. Velké Meziříčí, 2012, 28.04.2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://web.draka.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/katalog-produktu/pryzove-kabely/6-chcu->
- [15] 35-CHVU. DRAKA. *Draka Prysmian Group: katalog produktů* [online]. Velké Meziříčí, 2012, 28.04.2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://web.draka.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/katalog-produktu/pryzove-kabely/35-chvu->

Seznam obrázků

- Obr. 1.1 Rypadla K800 (těžba uhlí) a KU800 (těžba skryvky)
Obr. 1.2 Zakladač ZPD 6800.1 při zakládání materiálu na úpadní etáž
Obr. 1.3 Dálková pasová doprava
Obr. 1.4 Skládkový stroj KKS 40/35.1 na homogenizační skládce
Obr. 2.1 Princip kompenzace jalové energie [1]
Obr. 2.2 Vliv účinníku na ztráty v přenosové soustavě [12]
Obr. 2.3 Jednofázový systém se sinusovými průběhy [11]
Obr. 2.4 Jednofázový systém s obecně periodickými průběhy [11]
Obr. 2.5 Vztah mezi výkony [11]
Obr. 2.6 Střídavá síť se sériovým kondenzátorem [7]
Obr. 2.7 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem [7]
Obr. 2.8 Individuální kompenzace [6]
Obr. 2.9 Skupinová kompenzace [6]
Obr. 2.10 V-křivky synchronního stroje [7]
Obr. 2.11 Článek RLC [7]
Obr. 2.12 Kmitočtová charakteristika RLC obvodu s ochrannou tlumivkou [7]
Obr. 2.13 Kmitočtové charakteristiky L,C a LC filtru [7]
Obr. 2.14 Kmitočtová charakteristika proudového poměru filtru pro různý činitel jakosti [7]
Obr. 2.15 Závislost proudu výkonového filtru na kmitočtu [7]
Obr. 2.16 Závislost jalového výkonu na činném výkonu při osmistupňové regulaci [7]
Obr. 2.17 Závislost změny $\cos \varphi$ na odebíraném výkonu P,Q a počtu počtu připojených stupňů [7]
Obr. 2.18 Závislost změny $\cos \varphi$ na odebíraném výkonu P [5]
Obr. 2.19 Regulátor jalového výkonu
Obr. 2.20 Přepětové ochrany a přístrojové transformátory v přírodním poli kompenzačního rozvaděče
Obr. 2.21 Průběh impedance filtračního kompenzačního článku [1]
Obr. 2.22 Filtračně kompenzační rozvaděč [6]
Obr. 3.1 Hlavní transformovna TR 2
Obr. 3.2 Schéma zapojení TR2 [4]
Obr. 3.3 Část kompenzačních rozvaděčů centrální kompenzace TR2
Obr. 3.4 Hlavní transformovna TR 3
Obr. 3.5 Schéma zapojení TR 3 [4]
Obr. 3.6 Transformovna TR 3 - 110 kV část
Obr. 3.7 Kompenzační rozvaděče centrální kompenzace TR3
Obr. 3.9 Řízení centrální kompenzace na TR3
Obr. 3.10 Rozvodna TR4
Obr. 3.11 Přesuvná distribuční trafostanice TSN 66, 69
Obr. 3.12 Kompenzační kiosek přesuvné distribuční trafostanice DT 74
Obr. 3.13 2. a 3. stupeň kompenzačního kiosku
Obr. 3.14 Regulátor jalového výkonu a signalizace poruch kompenzačního kiosku
Obr. 3.15 Kompenzační rozvaděče 2 x 1400 kvar na TR35
Obr. 3.16 3. stupeň kompenzačního rozvaděče na TR35 - 2 x 400 kvar
Obr. 3.19 Celkový pohled na zařízení střediska ÚDUT (uprostřed)
Obr. 3.20 Schéma pasových dopravníků ÚDUT
Obr. 3.21 Čerpací stanice včetně napájecího kiosku – čerpadla zapojena do série s motory 200 kW, 6 kV
Obr. 3.22 Kabel 6 CHCU [14]
Obr. 3.23 Kabel 35 CHVU [15]

Seznam tabulek

Tab. 2.1	<i>Koeficient kompenzace k [1]</i>
Tab. 2.2	<i>Vliv účinníku na přenos činného výkonu P [1]</i>
Tab. 3.1	<i>Seznam distribučních trafostanic na DNT</i>
Tab. 3.2	<i>Seznam velkostrojů na DNT</i>
Tab. 3.3	<i>Seznam poháněcích stanic v provozu SKRÝVKA (těžba nadložních zemin)</i>
Tab. 3.4	<i>Seznam poháněcích stanic v provozu LOM</i>
Tab. 3.5	<i>Seznam poháněcích stanic v provozu ÚDUT</i>
Tab. 3.6	<i>Seznam pomocných zařízení přepravy</i>
Tab. 3.7	<i>Parametry kabelů 6-CHCU [14]</i>
Tab. 3.8	<i>Parametry kabelů 35-CHVU [15]</i>

Seznam příloh

- A. Odběr elektrické energie DNT za rok 2011**
- B. Odběr elektrické energie na TR2 za rok 2011**
- C. Odběr elektrické energie na TR3 za rok 2011**
- D. Odběr elektrické energie na TR4 za rok 2011**

Příloha A

Odběr elektrické energie DNT za rok 2011				
<i>měsíc</i>		Σ TR2	Σ TR3	Σ za DNT
<i>leden</i>	P (MWh)	10 600,3	8 889,0	19 489,3
	Q (Mvarh)	213,7	2 401,0	2 614,7
	Průměr cos ϕ	1,000	0,965	0,991
<i>únor</i>	P (MWh)	8 980,6	8 581,1	17 561,7
	Q (Mvarh)	179,4	2 321,9	2 501,4
	Průměr cos ϕ	1,000	0,965	0,990
<i>březen</i>	P (MWh)	8 314,5	8 643,0	16 957,5
	Q (Mvarh)	165,2	2 133,8	2 299,0
	Průměr cos ϕ	1,000	0,967	0,990
<i>duben</i>	P (MWh)	7 467,7	8 113,3	15 581,0
	Q (Mvarh)	158,0	2 196,6	2 354,6
	Průměr cos ϕ	1,000	0,965	0,989
<i>květen</i>	P (MWh)	8 153,3	7 827,5	15 980,7
	Q (Mvarh)	166,6	2 158,9	2 325,6
	Průměr cos ϕ	1,000	0,964	0,990
<i>červen</i>	P (MWh)	8 087,4	7 698,7	15 786,1
	Q (Mvarh)	162,8	2 148,9	2 311,7
	Průměr cos ϕ	1,000	0,963	0,990
<i>červenec</i>	P (MWh)	8 650,3	8 094,6	16 744,8
	Q (Mvarh)	153,4	2 203,8	2 357,2
	Průměr cos ϕ	1,000	0,966	0,991
<i>srpen</i>	P (MWh)	7 216,6	8 989,3	16 205,9
	Q (Mvarh)	164,6	2 480,4	2 645,0
	Průměr cos ϕ	1,000	0,964	0,987
<i>září</i>	P (MWh)	6 361,1	10 045,1	16 406,2
	Q (Mvarh)	168,4	2 718,4	2 886,8
	Průměr cos ϕ	1,000	0,965	0,985
<i>říjen</i>	P (MWh)	7 502,1	7 516,9	15 019,0
	Q (Mvarh)	154,3	2 071,9	2 226,2
	Průměr cos ϕ	1,000	0,964	0,989
<i>listopad</i>	P (MWh)	7 784,0	10 103,5	17 887,5
	Q (Mvarh)	185,7	2 748,5	2 934,1
	Průměr cos ϕ	1,000	0,965	0,987
<i>prosinec</i>	P (MWh)	7 962,1	9 427,1	17 389,2
	Q (Mvarh)	180,2	2 597,3	2 777,5
	Průměr cos ϕ	1,000	0,964	0,988
Roční součet z MWh		97 079,8	103 929,1	201 008,9
Roční součet z Mvarh		2 052,5	28 181,4	30 233,8
Roční průměr cos ϕ		1,000	0,965	0,989
Roční min. cos ϕ		0,999	0,953	0,980
Roční max. cos ϕ		1,000	1,000	1,000

Příloha B

Odběr elektrické energie na TR2 za rok 2011										
<i>měsíc</i>		V2	V5+V6	V8	V9	V10	V11	V12	V13	Σ TR2
<i>leden</i>	P (MWh)	765	552	3 125	0	1 074	599	1 257	1 253	8 625
	Q (Mvarh)	1 102	103	2 483	0	1 544	673	1 581	774	8 260
	cos φ	0,570	0,983	0,783	0,000	0,571	0,665	0,622	0,851	0,722
<i>únor</i>	P (MWh)	646	513	2 805	0	915	729	1 031	1 191	7 830
	Q (Mvarh)	832	98	2 219	0	1 283	535	1 319	713	6 999
	cos φ	0,613	0,982	0,784	0,000	0,581	0,806	0,616	0,858	0,746
<i>březen</i>	P (MWh)	3	546	2 707	0	906	698	962	1 261	7 083
	Q (Mvarh)	1	109	2 268	0	1 327	566	1 360	456	6 087
	cos φ	0,949	0,981	0,767	0,000	0,564	0,777	0,577	0,940	0,758
<i>duben</i>	P (MWh)	1 637	405	1 730	0	667	563	853	591	6 446
	Q (Mvarh)	1 362	76	1 632	0	1 090	487	1 153	151	5 951
	cos φ	0,769	0,983	0,727	0,000	0,522	0,756	0,595	0,969	0,735
<i>květen</i>	P (MWh)	1 802	409	1 812	0	664	611	953	974	7 225
	Q (Mvarh)	1 428	76	1 816	0	1 031	547	1 311	247	6 456
	cos φ	0,784	0,983	0,706	0,000	0,541	0,745	0,588	0,969	0,746
<i>červen</i>	P (MWh)	1 729	450	2 071	0	711	383	591	1 122	7 057
	Q (Mvarh)	1 381	86	2 035	0	1 077	349	797	404	6 129
	cos φ	0,781	0,982	0,713	0,000	0,551	0,739	0,596	0,941	0,755
<i>červenec</i>	P (MWh)	1 616	461	2 046	0	721	652	1 091	1 093	7 680
	Q (Mvarh)	1 360	89	1 984	0	1 101	602	1 520	753	7 409
	cos φ	0,765	0,982	0,718	0,000	0,548	0,735	0,583	0,823	0,720
<i>srpen</i>	P (MWh)	437	426	1 938	0	689	720	1 017	1 077	6 304
	Q (Mvarh)	422	81	2 048	0	1 097	704	1 370	732	6 454
	cos φ	0,719	0,982	0,687	0,000	0,532	0,715	0,596	0,827	0,699
<i>září</i>	P (MWh)	0	411	1 842	58	694	659	719	1 051	5 434
	Q (Mvarh)	0	78	1 917	26	1 197	800	951	743	5 712
	cos φ	0,000	0,982	0,693	0,913	0,502	0,636	0,603	0,817	0,689
<i>říjen</i>	P (MWh)	120	511	1 627	465	939	710	774	1 259	6 405
	Q (Mvarh)	135	96	1 857	190	1 670	834	984	828	6 594
	cos φ	0,664	0,983	0,659	0,926	0,490	0,648	0,618	0,836	0,697
<i>listopad</i>	P (MWh)	0	460	2 063	509	898	676	765	1 309	6 680
	Q (Mvarh)	0	86	2 219	197	1 548	697	1 000	859	6 606
	cos φ	0,000	0,983	0,681	0,933	0,502	0,696	0,608	0,836	0,711
<i>prosinec</i>	P (MWh)	0	457	2 367	587	924	541	909	974	6 759
	Q (Mvarh)	0	83	2 503	218	1 502	410	1 057	625	6 398
	cos φ	0,000	0,984	0,687	0,937	0,524	0,797	0,652	0,842	0,726
Roční součet z MWh		8 755	5 601	26 133	1 619	9 802	7 541	10 922	13 155	83 528
Roční součet z Mvarh		8 023	1 061	24 981	631	15 467	7 204	14 403	7 285	79 055
Roční průměr cos φ		0,735	0,983	0,717	0,927	0,536	0,726	0,605	0,876	0,725

Poznámka : V5+V6 je zdvojená linka pro měšírnu napájení železniční vlečky

Příloha C

Odběr elektrické energie na TR3 za rok 2011								
měsíc		V301	V302	V307	V308	V309	V310	Σ za TR3
leden	P (MWh)	582	664	201	14	1 887	5 628	8 976
	Q (Mvarh)	94	486	48	0	1 143	2 777	4 548
	cos φ	0,987	0,807	0,973	1,000	0,855	0,897	0,892
únor	P (MWh)	508	433	588	10	1 672	5 380	8 591
	Q (Mvarh)	80	377	263	0	1 037	2 465	4 222
	cos φ	0,988	0,754	0,913	1,000	0,850	0,909	0,897
březen	P (MWh)	464	882	527	10	1 851	4 251	7 985
	Q (Mvarh)	64	705	197	0	1 084	1 657	3 707
	cos φ	0,991	0,781	0,937	1,000	0,863	0,932	0,907
duben	P (MWh)	323	1 104	529	13	2 345	3 781	8 095
	Q (Mvarh)	37	897	257	0	1 458	1 535	4 184
	cos φ	0,994	0,776	0,899	1,000	0,849	0,927	0,888
květen	P (MWh)	361	687	22	13	3 168	3 561	7 812
	Q (Mvarh)	42	505	0	0	1 804	1 819	4 170
	cos φ	0,993	0,806	1,000	1,000	0,869	0,891	0,882
červen	P (MWh)	356	803	25	12	3 157	3 299	7 652
	Q (Mvarh)	41	847	0	0	1 456	1 925	4 269
	cos φ	0,993	0,688	1,000	1,000	0,908	0,864	0,873
červenec	P (MWh)	366	1 017	36	15	3 478	3 145	8 057
	Q (Mvarh)	43	1 016	0	0	1 361	1 372	3 792
	cos φ	0,993	0,707	1,000	1,000	0,931	0,917	0,905
srpen	P (MWh)	357	696	1 478	9	2 414	3 984	8 938
	Q (Mvarh)	44	706	1 133	0	1 306	1 844	5 033
	cos φ	0,992	0,702	0,794	1,000	0,880	0,908	0,871
září	P (MWh)	383	585	2 905	5	2 807	3 312	9 997
	Q (Mvarh)	54	557	2 056	0	1 659	1 899	6 225
	cos φ	0,990	0,724	0,816	1,000	0,861	0,868	0,849
říjen	P (MWh)	428	543	2 335	0	361	3 805	7 472
	Q (Mvarh)	60	301	1 811	0	31	2 338	4 541
	cos φ	0,990	0,875	0,790	0,000	0,996	0,852	0,855
listopad	P (MWh)	474	477	2 501	0	2 011	4 597	10 060
	Q (Mvarh)	68	233	1 902	0	1 227	2 528	5 958
	cos φ	0,990	0,899	0,796	0,000	0,854	0,876	0,860
prosinec	P (MWh)	244	598	1 253	272	2 709	4 308	9 384
	Q (Mvarh)	34	360	1 083	394	1 683	2 793	6 347
	cos φ	0,990	0,857	0,757	0,568	0,849	0,839	0,828
Roční součet z MWh		4 846	8 489	12 400	373	27 860	49 051	103 019
Roční součet z Mvarh		661	6 990	8 750	394	15 249	24 952	56 996
Roční průměr cos φ		0,991	0,781	0,890	0,957	0,880	0,890	0,876

Příloha D

Odběr elektrické energie na TR4 za rok 2011								
<i>měsíc</i>		V401	V404	V407	V408	V409	V413	Σ TR4
<i>leden</i>	P (MWh)	119	1 566	226	709	719	3 860	7 199
	Q (Mvarh)	39	1 074	30	856	508	1 173	3 680
	cos φ	0,950	0,825	0,991	0,638	0,817	0,957	0,863
<i>únor</i>	P (MWh)	111	1 379	204	669	581	3 846	6 790
	Q (Mvarh)	36	973	26	829	373	1 052	3 289
	cos φ	0,951	0,817	0,992	0,628	0,842	0,965	0,866
<i>březen</i>	P (MWh)	110	1 571	173	666	56	3 320	5 896
	Q (Mvarh)	37	1 021	30	984	0	623	2 695
	cos φ	0,948	0,838	0,985	0,561	1,000	0,983	0,886
<i>duben</i>	P (MWh)	88	2 117	77	438	0	3 219	5 939
	Q (Mvarh)	35	1 364	28	661	0	772	2 860
	cos φ	0,929	0,841	0,940	0,552	0,000	0,972	0,706
<i>květen</i>	P (MWh)	70	2 949	25	556	0	2 943	6 543
	Q (Mvarh)	32	1 666	26	872	0	867	3 463
	cos φ	0,909	0,871	0,693	0,538	0,000	0,959	0,662
<i>červen</i>	P (MWh)	39	2 998	12	695	0	2 515	6 259
	Q (Mvarh)	21	1 343	26	1 026	0	821	3 237
	cos φ	0,880	0,913	0,419	0,561	0,000	0,951	0,621
<i>červenec</i>	P (MWh)	26	1 935	16	323	0	2 772	5 072
	Q (Mvarh)	13	671	27	431	0	856	1 998
	cos φ	0,894	0,945	0,510	0,600	0,000	0,955	0,651
<i>srpen</i>	P (MWh)	27	2 095	15	520	0	3 402	6 059
	Q (Mvarh)	14	1 153	26	779	0	977	2 949
	cos φ	0,888	0,876	0,500	0,555	0,000	0,961	0,630
<i>září</i>	P (MWh)	51	2 696	18	879	0	2 335	5 979
	Q (Mvarh)	29	1 568	27	1 288	0	604	3 516
	cos φ	0,869	0,864	0,555	0,564	0,000	0,968	0,637
<i>říjen</i>	P (MWh)	74	125	108	1 436	0	2 250	3 993
	Q (Mvarh)	28	14	26	1 881	0	598	2 547
	cos φ	0,935	0,994	0,972	0,607	0,000	0,966	0,746
<i>listopad</i>	P (MWh)	88	1 750	159	1 497	0	2 879	6 373
	Q (Mvarh)	23	1 149	27	1 903	0	483	3 585
	cos φ	0,968	0,836	0,986	0,618	0,000	0,986	0,732
<i>prosinec</i>	P (MWh)	112	2 403	149	1 517	0	2 568	6 749
	Q (Mvarh)	35	1 599	27	2 068	0	582	4 311
	cos φ	0,954	0,833	0,984	0,591	0,000	0,975	0,723
Roční součet z MWh		915	23 584	1 182	9 905	1 356	35 909	72 851
Roční součet z Mvarh		342	13 595	326	13 578	881	9 408	38 130
Roční průměr cos φ		0,923	0,871	0,794	0,584	0,886	0,967	0,727